

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK KAR ÖRTÜSÜ İLE
MEVSİMSEL AKIMIN DEĞERLENDİRİLMESİ: URMİYE GÖLÜ ÖRNEĞİ

Afshin SHAHBAZI

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK KAR ÖRTÜSÜ İLE MEVSİMSEL AKIMIN DEĞERLENDİRİLMESİ: URMİYE GÖLÜ ÖRNEĞİ

Afshin SHAHBAZI

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar Ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. G. Duygu SEMİZ

Kar, su döngüsünün önemli bir parçasıdır. Ancak, iklim değişikliği nedeniyle kar yağışı miktarı her geçen gün azalmakta, kar erimesi hızlanmakta ve su akışı üzerindeki etkileri değişmektedir. Kar ölçümü ve izlenmesi, iklimsel ve hidrolojik döngülerin anlaşılması ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önemlidir. Kar, hem su temini hem de ekosistemler ve tarımsal faaliyetler için önemli bir su kaynağıdır. Kar yağışı verileri, su kaynakları yönetimi ve iklim modellerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. Ancak, yer bazlı kar ölçümleri zaman ve mekansal kısıtlamalardan dolayı eksik veri kaydedebilir. Bu nedenle, uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama yöntemleri, kar örtüsünün izlenmesi ve kar su eşdeğerinin tahmin edilmesi için kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, kar örtüsünün değişimlerini ve kar su eşdeğerini daha kapsamlı bir şekilde elde etmek imkanı sağlamaktadır. Bu çalışmada, Urmıye Gölü Havzası'nda kar örtüsü ve kar su eşdeğerinin miktar ve dağılımı incelenmiştir ve bu verilerin mevsimsel akış miktarı ve gölün su seviyesi üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. İran'ın kuzeybatısında yer alan Urmıye Gölü Havzası, dağlık bir bölge olduğu için, karın, önemli bir doğal rezervuar olduğu kabul edilmektedir. Urmıye Gölü'nün kuruma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu düşünüldüğünde, kar miktarının takibi su kaynaklarının yönetimi açısından önemlidir. Çalışmada, uzaktan algılama verileri ve yersel ölçümler kullanılarak kar örtüsü ve kar su eşdeğeri analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kar yağışının yüzey akış'a ve göl seviyesine katkısını ortaya koymaktadır. Çalışmada 2007 ila 2013 yılları arasında AMSR-E, GLDAS ve ERA5-land kar su eşdeğeri verileri karşılaştırılmıştır. RMSE, R ve R² gibi istatistiksel ölçümler, her bir KSE ürününün veri kalitesini yansıtmak için kullanılmıştır. Bu ölçümler, ERA5-land KSE ürününün genel doğruluğunun diğer KSE ürünlerinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, bu ürünün KSE tahmini konusunda daha iyi performans gösterdiğini ve bu nedenle bu ürünün KSE tahminlerinde tercih edilebileceğini düşündürmektedir. Daha sonra ERA5 KSE'nin diğer hidroiklim verileriyle ilişkisi ortaya koyulmuştur. Sonuç olarak çoklu doğrusal regresyon modelinin çıktılarına dayanarak, KSE değişkeni en yüksek standartlaştırılmış β mutlak değerine sahip olarak göle boşalım miktarını en fazla etkileyen parametre olarak belirlenmiştir. Bu modelde sırası ile en önemli değişkenlerin KSE, tarımda kullanılan su ve yağmur olduğu bulunmuştur.

Temmuz 2023, 141 sayfa

Anahtar Kelimeler: İran, Kar Su Eşdeğeri, AMSR-E, ERA5, GLDAS, MODIS, Havza Yönetimi, Su Kaynakları

ABSTRACT

Master Thesis

EVALUATION OF SNOW COVER AND SEASONAL STREAMS USING REMOTE SENSING TECHNIQUES: LAKE URMIA

Afshin SHAHBAZI

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Agricultural Structures and Irrigation Department

Supervisor: Prof. Dr. Duygu SEMIZ

Snow is an important component of the water cycle. Measurement and monitoring of snow are crucial for understanding climate and hydrological cycles, as well as for the sustainable management of water resources. However, due to climate change, the amount of snowfall is decreasing, snowmelt is accelerating, and the effects on water flow are changing. Snow serves as a vital source for both water supply and ecosystems/agricultural activities. Snowfall data can be utilized in water resources management and the development of climate models. Snow measurements are essential for water resources management, climate model development, and understanding the water cycle. However, ground-based snow measurements may have limitations in terms of time and spatial coverage. Therefore, remote sensing methods such as satellite imagery are employed for monitoring snow cover and estimating snow water equivalent. These technologies enable a more comprehensive assessment of changes in snow cover and snow water equivalent. In this study, snow cover and snow water equivalent in the Urmia Lake Basin were examined, and their quantity and distribution were analyzed. Furthermore, the impact of these variables on seasonal flow rates and the water level of the lake was investigated. The Urmia Lake Basin, located in northwestern Iran, is assumed to have significant natural reservoirs of snow due to its mountainous terrain. Considering the risk of Urmia Lake drying up, monitoring the amount of snow is important for water resources management. Remote sensing data and ground-based measurements were used to analyze snow cover and snow water equivalent in the study. The results demonstrate the contribution of snowfall to surface runoff and the water level of the lake. In the study, data from AMSR-E, GLDAS, and ERA5-land SWE products were compared for the period between 2007 and 2013. Statistical measures such as RMSE, R, and R^2 were used to reflect the data quality of each SWE product. These measurements indicated that ERA5-land SWE product had higher overall accuracy compared to the other SWE products. These results suggest that this product performs better in SWE estimation and can be preferred for SWE predictions. Subsequently, the relationship between ERA5 SWE and other hydroclimatic variables was examined. Based on the outputs of a multiple linear regression model, the SWE variable was identified as the parameter with the highest standardized absolute β value, indicating its greatest influence on the amount of outflow to the lake. In this model, the most important variables can be stated as SWE, Agricultural water use, and Rainfall.

July 2023, 141 pages

Key Words: Iran, Snow Water Equivalent, AMSR-E, ERA5, GLDAS, MODIS, Basin Management, Water Resources

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarımnda yazılım ve donanıma yönelik her türlü ihtiyacımın karşılanmasında destek sağlayan, tez çalıőmalarının her aşamasında bilgi, görüő ve eleőtirileriyle yönlendirici olan danıőmanım Sayın Prof. Dr. Duygu SEMİZ'e ve sayın Dr. Yusif ALİZADE'ye, burs desteği sağlayarak yüksek lisans eğitimime Türkiye'de devam etmemi mümkün kılan YTB'ye, yardımlarını esirgemeyen sayın Ali POLAT'a, manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim ve çalıőmalarımndan dolayı yeterince ilgilenemediğim sevgili eőim Nigar'a ve aileme en içten teőekkürlerimi sunarım.

Afshin SHAHBAZI
Ankara, Temmuz 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	7
2.1 KSE ve Kar Örtüsünün Uzaktan Algılanması	7
2.2 Urmiye Gölü Havzası Üzerine Yapılan Çalışmalar	16
2.2.1 Tarımsal faaliyetlerinin genişlenmesi.....	19
2.2.2 Havzadaki barajlar	20
2.2.3 Su kaynaklarının yanlış yönetimi	21
2.2.4 İklimsel faktörlerin uzun vadeli değişimi.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Materyal	24
3.1.1 Çalışma alanı	24
3.1.2 Google Earth Engine	37
3.1.3 Yersel ölçüm verileri	42
3.1.3.1 Kar ölçüm verileri.....	42
3.1.3.2 Hidrometrik veriler.....	43
3.1.4 Uzaktan algılama verileri	44
3.1.4.1 AMSR-E kar su eşdeğeri verileri.....	44
3.1.4.2 Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi - MODIS	49
3.1.4.2.1 MODIS kar ürünleri.....	53
3.1.4.2.2 MODIS MOD10A1 kar ürünü.....	55
3.1.5 Yeniden analiz ve kara yüzeyi veri asimilasyon sisteminin veri setleri.....	56
3.1.5.1 ERA5 kar su eşdeğeri veri seti	57
3.1.5.2 GLDAS-2 KSE veri seti	60
3.2 Yöntem	63
3.2.1 AMSR-E KSE verilerinin elde edilmesi ve işlenmesi	63

3.2.2 MODIS MOD10A1 ürünü ikili kar haritalarının oluşturulması.....	65
3.2.3 Yeniden analiz ve asimilasyon sistemi KSE verilerinin elde edilmesi	67
3.2.4 KSE haritalarının oluşturulması	69
3.2.5 Yükseklik ve hidrolojik haritaların oluşturulması	74
3.2.6 Trend analizleri ve istatistiksel metotlar	75
3.2.6.1 Mann Kendall trend analizi	75
3.2.6.2 Regresyon analizi	77
3.2.6.3 Çoklu doğrusal regresyon	78
4. BULGULAR	81
4.1 AMSR-E KSE Verileriyle Saha Ölçüm Verilerinin Karşılaştırılması	81
4.1.1 Kar yoğunluğunun AMSR-E verileri üzerinde etkisi	83
4.1.2 Topografyanın tahmin verileri üzerinde etkisi.....	84
4.2 ERA5 KSE Verileriyle Saha Ölçüm Verilerinin Karşılaştırılması.....	88
4.3 GLDAS-2 KSE Verileriyle Saha Ölçüm Verilerinin Karşılaştırılması.....	93
4.4 Hidroiklim Parametreler İçin Eğilim Çizgilerinin Belirlenmesi ve Mann- Kendall Trend Analizi Sonuçları.....	98
4.4.1 KSE için eğilim çizgisi ve Mann-Kendall analizi sonuçları.....	99
4.4.2 Yağmur yağışı için uzun vadeli Mann-Kendall analizi sonuçları.....	99
4.4.3 Göle boşalım miktarının uzun vadede eğilimi	100
4.4.4 Göl seviyesinin uzun vadede değişimi.....	101
4.4.5 Tarımda kullanılan su miktarının uzun vadede değişimi	102
4.5 Basit Doğrusal Regresyon Modeli İle KSE Ve Diğer Hidroiklim Parametrelerin Göle Boşalım Miktarına Ve Göl Seviyesine Olan Katkısını Belirlemek	103
4.5.1 KSE'nin göle boşalım miktarına katkısı	103
4.5.2 Yağışın göle boşalım miktarına katkısı	107
4.5.3 Tarımda kullanılan su miktarının göle boşalım miktarındaki katkısı.....	109
4.6 Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli kullanılarak Göle Boşalım Miktarını Etkileyen KSE ve Diğer Hidroiklim Parametrelerin Belirlenmesi	113
5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	119
KAYNAKLAR	122
ÖZGEÇMİŞ.....	141

KISALTMALAR DİZİNİ

AMSR-E:	Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System
CBS :	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DAAC:	Distributed Active Archive Center
DAP:	Delivery Algorithm Package
EOS :	Earth Observation System System - Dünya Gözlemeleme Sistemi
EOSDIS:	Earth Observing System Data and Information System - Dünya Gözlem Sistemi Veri ve Bilgi Sistemi
ESA:	European Space Agency - Avrupa Uzay Ajansı
GHCC:	Global Hydrology Climate Center
HDF:	Hierarchical Data Format - Hiyerarşik Veri Formatı
HDF-EOS:	Hierarchical Data Format - Earth Observing System-Hiyerarşik Veri Formatı- Dünya Gözlem Sistemi
IDW:	Inverse Distance Weighting
IHC:	Iran Hydrography Center
IRIMO:	Iran Meteorological Organization
IWRM:	Iran Water Resources Management
JAXA:	Japan Aerospace Exploration Agency - Japonya Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı
JPL:	Jet Propulsion Laboratory
KKA:	Karla Kaplı Alan
KSE:	Kar Su Eşdeğeri
MCM:	milyon metreküp
MODIS:	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi
NASA:	National Aeronautics and Space Administration - Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NCSA:	National Center for Supercomputing Applications - Ulusal Süper Hesaplama Uygulamaları Merkezi
NDVI:	Normalized Difference Vegetation - Normalize Fark Vejetasyon İndisi
NDWI:	Normalized Difference Water Index - Normalize Fark su İndisi
NIR:	Near Infrared-Yakın Kızılötesi
NOAA:	National Oceanic and Atmospheric Administration - Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
AVHRR:	Advanced Very High Resolution Radiometer

PRT:	Platinum Resistance Thermistor
PODAAC:	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
R ² :	Correlation Coefficient - Korelasyon Katsayısı
RAMSAR:	The Convention on Wetlands of International Importance, especially as Waterfowl Habitat
RMSE:	Root Mean Squared Error - Hataların Kareler Ort. Kareköküp
RSS:	Remote Sensing Systems
SCA:	Snow Cover Area
SIPS:	Science Investigator - led Processing System
SMMR:	Scanning Multichannel Microwave Radiometer
SSM/I:	Special Sensor Microwave/Imager
SWIR:	ShortWave Infrared - Kısa dalga kızılötesi
SWE:	Snow Water Equivalent
TIRS:	Thermal Infrared Sensor - Termal Kızılötesi Sensör
UA:	Uzaktan Algılama - Remote Sensing
UTM:	Universal Transverse Mercator - Evrensel Enlem Merkatörü
VIS:	Visible - Görünür
WGS84:	World Geodetic System - Dünya Jeodezik Sistemi 1984
WMO:	World Meteorological Organization - Dünya Meteoroloji Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Çalışma alanı.....	25
Şekil 3.2 Göl'ü kuzey ve güney olarak ikiye bölen yol	25
Şekil 3.3 Göl tabanında tuz birikimi	26
Şekil 3.4 Urmiye Gölü havzasındaki iklimsel parametrelerin uzun sürede değişimi. (a): 1985-2019 yılları arasında aylık yağmur değişimi. (b): 1985-2019 yılları arasında aylık sıcaklık değişimi. (c): 1985-2019 yılları arasında aylık göl üzerinden buharlaşma değerleri.....	27
Şekil 3.5 Urmiye Gölü havzasının yükseklik haritası	28
Şekil 3.6 Urmiye Gölü havzadaki nehirler ve bağlantıları.....	29
Şekil 3.7 Uzun süreli akarsuların Urmiye Gölü'ne boşalım değeri (IWRM).....	30
Şekil 3.8 Urmiye Gölü Havzasındaki akarsuların göle boşalım değerleri	30
Şekil 3.9 Urmiye Gölü havzasındaki alt havzaların alansal dağılımı	31
Şekil 3.10 Urmiye Gölü havzasındaki alt havzalar	31
Şekil 3.11 Havzadaki tarım arazilerinin dağılımı ve barajların konumu	33
Şekil 3.12 Çalışma alanında bulunan kar ölçüm istasyonları	34
Şekil 3.13 Urmiye Gölü Havza'sı eğim haritası	37
Şekil 3.14 GEE'nin web tabanlı uygulama programlama arayüzü ve bileşenleri	38
Şekil 3.15 GEE'nin barındırdığı veri tipleri ve çalıştırmak için sunduğu araçlar.....	39
Şekil 3.16 Havzadaki kar ölçüm yöntemi	43
Şekil 3.17 Havzada kullanılan kar tüplerinin ekipmanları.....	43
Şekil 3.18 Akım ölçüm istasyonları	44
Şekil 3.19 Pasif mikrodalga radyasyon transferi	46
Şekil 3.20 Farklı tarihlerde MODIS ile görüntülenmiş İran ve Urmiye Gölü havzası görüntüleri	50
Şekil 3.21 Karın görünür dalga boylarında (0.5-0.7 µm) yansıtımı.....	51
Şekil 3.22 MODIS sinüsoidal ızgara şema (Bu çalışmada, Urmiye Havzasını kaplayan h21v6 gridi kullanılmıştır).....	56
Şekil 3.23 ERA5 için ozon (ATMO), kara yüzeyi (LAND), okyanus dalgaları (WAVE), deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) ve deniz buzu (ICE) dahil olmak üzere atmosfere ilişkin asimilasyon diyagramı	60
Şekil 3.24 Uzaktan Algılama verilerinin doğruluk analizi için kullanılan 4 kar gözlem istasyonu	71
Şekil 3.25 Ocak 1985 tarihli örnek ERA5 KSE haritalama süreci	73
Şekil 4.1 İstasyonlarda 2007-2011 yılları arasında AMSR-E verileri ile ölçüm verilerinin karşılaştırılması	82

Şekil 4.2 AMSR-E verilene istasyonlarda ölçülen kar yoğunluğu uygulandıktan sonra ölçüm verileri ile karşılaştırılması	84
Şekil 4.3 Farklı yüksekliklerde bulunan istasyonların ölçüm verileri ile AMSR-E KSE verileri karşılaştırılması	85
Şekil 4.4 Havza genelinde AMSR-E verileri ile ölçüm verilerinin karşılaştırılması	86
Şekil 4.5 Havza genelinde gerçek kar yoğunluğu ile algoritmayı revize ettikten sonra AMSR-E verilerin ölçüm verilerle karşılaştırılması	88
Şekil 4.6 ERA5 verilerinin istasyonlardaki ölçüm verileri ile karşılaştırılması	89
Şekil 4.7 Havza genelinde saha ölçüm ve ERA5'den elde edilen ortalama aylık KSE verilerinin karşılaştırılması	90
Şekil 4.8 KSE'nin aylara göre değişimi	92
Şekil 4.9 GLDAS KSE verilerinin istasyonlardaki ölçüm verileri ile karşılaştırılması	94
Şekil 4.10 Havza genelinde ölçüm ve GLDAS'dan elde edilen ortalama aylık KSE verilerinin karşılaştırılması	95
Şekil 4.11 ERA5, GLDAS, AMSR-E ve ölçüm verileri arasında korelasyon analizi sonucu	97
Şekil 4.12 KSE için 1985-2022 yılları arasında eğim çizgisi	99
Şekil 4.13 Yağmur için uzun vadeli eğim çizgisi	100
Şekil 4.14 Göle boşalım miktarının uzun vadeli eğim çizgisi	101
Şekil 4.15 Göl seviyesinin uzun vadeli eğim çizgisi	102
Şekil 4.16 Tarımda kullanılan su miktarının uzun vadeli eğim çizgisi	103
Şekil 4.17 1985-2022 yılları arasında havzada KSE ve Göle boşalım miktarının ilişkisi	104
Şekil 4.18 Aylar bazında KSE ve Göle boşalım miktarı arasındaki ilişki	106
Şekil 4.19 1985-2020 yılları arasında havzada yağmur yağışı ve Göle boşalım miktarının ilişkisi	107
Şekil 4.20 1985-2019 yılları arasında havzada tarımda kullanılan su ve Göle boşalım miktarının ilişkisi	110
Şekil 4.21 Hidroiklim parametreler arasındaki korelasyon ilişkisi	112
Şekil 4.22 Çoklu doğrusal regresyon modelinde tahmin edilen verilerle gerçek veriler arasındaki ilişki	115
Şekil 4.23 Farklı senaryoların sonuçları	117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Urmiye gölü'ndeki su miktarındaki azalmaya iklimsel ve antropojenik faktörlerin katkısı (Parsinejad vd. 2022).....	17
Çizelge 2.2 Tarımsal faaliyetlerin Urmiye gölü'ndeki azalmaya katkıları.....	17
Çizelge 2.3 İklimsel faktörlerin uzun vadeli değişimi	23
Çizelge 3.1 Zarrineh alt havzasındaki kar ölçüm istasyonlarının koordinatları ve yüksekliği	35
Çizelge 3.2 GEE kataloğundan kullandığımız ürünler	41
Çizelge 3.3 Kar su eşdeğeri tahmini için mevcut olan pasif mikrodalga sensörlerinin özellikleri (Lobl 2001)	45
Çizelge 3.4 MODIS sensörünün özellikleri	50
Çizelge 3.5 MODIS kar ürünlerinin üretilmesinde kullanılan bantlar	53
Çizelge 3.6 MODIS kar ürünleri. Terra (MOD) ve Aqua (MYD) ürünleri, M*D ile gösterilmiştir.....	55
Çizelge 3.7 ECMWF'nin başlangıçtan günümüze kadar re-analiz veri setleri.....	58
Çizelge 3.8 GLDAS verilerinin temel özellikleri	61
Çizelge 3.9 GLDAS projesinde üretilen veri ürünlerinin listesi.....	62
Çizelge 3.10 doğrulama amaçlı kullanılan kar ölçüm istasyonları	70
Çizelge 3.11 Çoklu doğrusal modelinde kullanılan girdiler	78
Çizelge 4.1 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri.....	87
Çizelge 4.2 Model özeti	87
Çizelge 4.3 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)	88
Çizelge 4.4 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri.....	91
Çizelge 4.5 Model özeti	91
Çizelge 4.6 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)	92
Çizelge 4.7 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri.....	96
Çizelge 4.8 Model özeti	96
Çizelge 4.9 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)	96
Çizelge 4.10 ERA5, GLDAS, AMSR-E'nin saha ölçüm verileriyle karşılaştırılmasındaki değerlendirme metriklerinin sonucu	97
Çizelge 4.11 Hidroiklim verileri için Mann-Kendall trend sonuçları	98

Çizelge 4.12 Hidroiklim veriler için Mann-Kendall trend sonuçları	98
Çizelge 4.13 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri	105
Çizelge 4.14 Model özeti	105
Çizelge 4.15 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)	106
Çizelge 4.16 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri	108
Çizelge 4.17 Model özeti	108
Çizelge 4.18 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)	109
Çizelge 4.19 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri	111
Çizelge 4.20 Model özeti	111
Çizelge 4.21 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)	112
Çizelge 4.22 Çoklu doğrusal regresyon modelinde kullanılan bağımsız değişkenlerin kısmi regresyon katsayıları, t istatistiği ve p değerleri	113
Çizelge 4.23 Çoklu doğrusal regresyon modelinin özeti	116

1. GİRİŞ

Günümüzde, toplum sürdürülebilir bir kalkınma ve çevreye saygılı bir yaklaşım talep ettiği için su kaynaklarının korunması hem niteliksel hem de niceliksel olarak önemli bir konudur. Dünya'nın kara yüzeyinde meydana gelen mevsimsel değişikliklerden en önemlilerinden biri, mevsimsel karın birikmesi ve erimesi ve bunun iklim, hava durumu ve su dengesi üzerindeki etkileridir (Dozier vd. 2008). Bir milyardan fazla insan, su temini için mevsimsel kar yağışı veya dağ buzullarına ihtiyaç duymaktadır. Bu alanlar, esas olarak azalan kar yağışı, artan evapotranspirasyon ve iklim değişikliği nedeniyle, potansiyel olarak risk altındadır. Dünyadaki nüfusun altıda birinden fazlası, mevsimsel kar yağışı ve buzullar sayesinde su ihtiyaçlarını karşılamaktadır (Barnett vd. 2005).

Kar şeklindeki su kaynaklarının miktarının belirlenmesi, suyun akışını düzenleyen doğal bir kaynak olması nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Kar birikimi ve kar erimesi, su döngüsünün önemli bir parçası olan hidrolojik süreçlerdir ve doğal olarak su kaynaklarının miktarını önemli derecede etkilemektedir. Kar, özellikle yüksek bölgelerde birikerek, en fazla suya ihtiyaç duyulan ilkbahar ve yaz aylarında yavaş yavaş eriyerek su kaynaklarının sürekli olarak beslenmesini sağlar. Normal şartlarda eriyen kar, düzenli olarak nehir ağlarına ve barajlara akarak suyun birikmesini sağlar. Bu şekilde kar, yazın başlangıcında düşük yağış, yüksek buharlaşma ve önemli su talebiyle karakterize olan dönemde nehirlerde temel bir akışı garanti eder. Bunun yanı sıra, hızlı bir sıcaklık artışıyla birlikte kısa süreli yoğun kar erimesi meydana gelebilir. Bu durum, nehir kanallarında yüksek debiye ve sel olaylarına da neden olabilir.

Kar, küresel meteorolojik koşullardaki değişikliklere son derece duyarlıdır (Jaagus 1997). İklim değişikliği, dünya genelinde sıcaklık ve yağış rejimlerinde değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler, kar oluşumu, birikimi ve erimesi üzerinde etkili olur. Özellikle yüksek rakımlı bölgelerde, karın yoğunluğu, mevsimsel dağılımı ve süresi, iklim değişikliği ile ilişkilendirilen belirgin değişiklikler gösterebilir (Szwed vd. 2017).

İklim değişikliği nedeniyle bazı bölgelerde kar yağışı miktarı azalabilir veya kar yağışı dönemi kaybolabilir. Ayrıca, artan sıcaklıklar, kar birikimini azaltabilir, karın erimesini

hızlandırabilir ve kar tutma süresini kısaltabilir. Bu ise su kaynaklarının yönetimi, tarımsal sulama, içme suyu temini ve enerji üretimi gibi alanlarda önemli etkiler yaratabilir. Bunlara ek olarak, sıcaklık artışı ve hızlı kar erimesi, suyun toprakta sızmasını da etkileyebilir. Normalde, kar eriyerek toprağa nüfuz eder ve yeraltı su kaynaklarını besler. Ancak sıcaklıktaki artış ve hızlı kar erimesi, suyun toprağa sızmasını engelleyebilir veya azaltabilir. Bu ise yeraltı su kaynaklarının azalmasına ve su döngüsünün etkilenmesine neden olabilir (Mora Alonso-Muñoyerro 2015).

Kar, çevresel, ekonomik ve ekolojik sistemler için de büyük öneme sahiptir. Kar tabakaları, toprağın donmasını engelleyerek bitki köklerini korur ve habitat için önemli bir su kaynağı olarak hizmet eder. Dolayısıyla, karın iklim değişikliğine olan hassasiyeti ve kar yağışındaki değişiklikler su kaynaklarının yönetimi, ekosistem sağlığı ve tarımsal faaliyetlerinin sürdürülebilirliği gibi alanda önemli sonuçlara yol açabilir ve değişikliklere uygun yönetim stratejisi gerektirebilir (Szwed vd. 2017). Sonuç olarak, iklim değişikliği senaryolarında beklenen sıcaklık artışı, kar yağışını azaltacak, kar erimesini hızlandıracak ve su akışını etkileyecektir. Aynı zamanda, suyun toprakta sızmasını da etkileyerek su kaynaklarının yönetimini ve su döngüsünü etkileyecektir.

Kar yağışı, yüzey akış, kuraklık ve taşkınların sürekli izlenmesi, tarımsal faaliyetlerin planlanması ve hidrolojik modellemede önemli girdi olarak kullanılabilir (Huang vd. 2022). Kar yağışı, özellikle dağlık bölgelerde su döngüsü ve yüzey akışı üzerinde önemli etkiye sahip hidrolojik bir parametre olduğundan küresel iklim gözlem sistemleri tarafından da temel iklim değişkenleri arasında yer almaktadır. Kar yağışı verileri, iklim modellerinin geliştirilmesinde ve su kaynakları yönetimi çalışmalarında da büyük önem taşımaktadır (Fayad vd. 2017).

Karın hem yıllar içinde hem de mevsimsel olarak değişkenliği, özellikle tarım sektöründe su kaynakları yönetimi kararlarını etkilemektedir. Ayrıca kar, tarımın devamlılığı için ihtiyaç duyulan su kaynağı olmasıyla da önemli bir fiziksel ögedir. Karla kaplı alanlar, suyun donmuş haliyle rezervuar görevi görürken, karların erime dönemi boyunca ise su temini için aktif bir depo işlevi görürler (Kumar vd. 2006, Thirel vd. 2013). Özellikle yüksek dağlarla çevrili havzalarda kar erimesi sonucu oluşan

akımlar yıllık akımın büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Sorman ve Beser (2013), bu durumun önemine dikkat çekerek, kar su eşdeğeri (KSE) bilgilerinin barajların etkin bir şekilde planlanması ve işletilmesi için kritik bir faktör olduğunu belirtmişlerdir ve özellikle ilkbahar aylarında kar erimesi sonucu oluşan toplam yıllık akışın %65-70'inin rezervuara katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir (Tekeli vd. 2005, Sorman ve Beser 2013). Bölgesel kar su eşdeğeri (KSE) bilgisi, su kaynakları ve kar erimesiyle meydana gelen suyun yönetimi için ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, bölgesel ölçekte kar derinliği, kar yoğunluğu, KSE ve kar örtüsü gibi kar parametrelerinin izlenmesi, iklim değişikliği ve hidrolojik model çalışmalarında büyük önem arz etmektedir (Sorman ve Beser 2013). Kar örtüsü dağılımının sürekli ve doğru bir şekilde izlenmesi ve modellenmesi, KSE'nin doğru tahmin edilmesi için önemli olduğu gibi hava tahmin modelleriyle birlikte günümüzde ve gelecekteki küresel ve yerel iklim değişikliği ve hidroloji çalışmalarında da kritik bir rol oynamaktadır (Dozier 1992, Foster vd. 1997, Brown vd. 2003, Hosaka vd. 2005, Clark vd. 2006, Pirazzini vd. 2018).

Sonuç olarak kar yağışı, hidrolojik, meteorolojik ve çevresel süreçlerin çoğunda önemli bir rol oynayan temel bir iklim değişkeni olarak kabul edilmektedir (Hüsler vd. 2012). Bu yüzden, kar örtüsünün sürekli olarak izlenmesi ve KSE'nin doğru tahmin edilmesi, hem yerel hem de küresel ölçekte mevcut ve gelecekteki iklimsel ve hidrolojik döngüler ile ekolojik dinamiklerin daha iyi anlaşılması açısından son derece önemlidir (Appel 2018, Pirazzini vd. 2018). Bütün bunlara ek olarak, kar örtüsü bir rezervuar görevi görür ve eridikçe ekosistemler, sulama ve insan tüketimi için önemli miktarda su sağlar. Özellikle yüksek dağlara bitişik tarım bölgeleri, eriyen karlara yüksek oranda bağımlıdır (Bagla 2007). Bu nedenle, kar mevsimi başlangıç ve bitiş zamanlarındaki değişikliklerin yanı sıra kar örtüsünün yıllar arası değişkenliğinin sürekli olarak izlenmesi son derece önemlidir (Choi vd. 2010). Bunlara ek olarak, karın su akışını düzenlemesi ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından önemli bir rolü vardır. Bu bağlamda, dağlık bölgelerde ve Urmia Gölü Havzası'nda su kaynaklarının kar şeklindeki varlığının niceliksel olarak belirlenmesi, su yönetimi ve planlaması açısından büyük önem taşımaktadır.

Yer bazlı kar ölçümleri, karın zamansal değişimini doğrudan izlenmesine imkan sağlamasına rağmen, rüzgar hareketleri ve bitki örtüsü etkileşimleri gibi faktörlerden dolayı bozulmalara maruz kalabilir. Bunun yanı sıra, ölçümlerin alındığı ağın yoğunluğuna bağlı olarak iklim ve arazi heterojenliğinden kaynaklı kar birikintilerinin mekânsal değişkenliğini tam olarak yansıtamayabilir (López-Moreno vd. 2013, Raleigh vd. 2016). Genellikle dağlık bölgelerde bulunan dik yamaçlar ve zorlu çevre koşulları, özellikle uzak mesafelerde bulunan yerlerde yer bazlı kar ölçümlerinin yüksek işletme maliyeti gerektirmesine neden olabilir. Bu nedenle ölçüm yapılan bölgelerde genellikle eksik veriler kaydedilebilir (Viviroli vd. 2011). Sonuç olarak yer istasyonları ve meteorolojik gözlemlerden elde edilen kar-su eşdeğeri verileri, hidrometeorolojik ve iklim değişikliği araştırmalarının gereksinimlerini karşılayamamaktadır. Bunun başlıca nedeni, istasyonlardan gelen KSE verilerinin zaman serilerinde süreksiz (kesintili) olması ve ciddi şekilde eksik olmasıdır. Ayrıca, hidrometeorolojik çalışmalar genellikle mekânsal ve zamansal olarak sürekli ızgara veriler gerektirir ve bu çok nadiren gerçekleştirilebilir. Tüm bu fiziksel engelleri aşabilmek için, bilim insanları özellikle uydu görüntülerine dayalı uzaktan algılama tekniklerinin kullanılabilmesi için yoğun çaba sarf etmişlerdir. Bu amaçla çeşitli modeller ve algoritmalar geliştirilmiş, dünyanın birçok bölgesinde bu modeller kullanılarak KSE hesaplanmaktadır (Pan vd. 2003).

Günümüzde, dünya genelinde KSE'ne ilişkin birçok veri türü bulunmaktadır. Bu veriler, türlerine göre yer gözlemi KSE, uzaktan algılama, yeniden analiz, veri asimilasyonu ve model simülasyonu şeklinde sınıflandırılabilir. Uzaktan algılama yoluyla elde edilen KSE'leri çoğunlukla AMSR-E (Kelly 2009) ve AMSR-2 olarak bilinmektedir (Imaoka vd. 2010, Tedesco ve Jeyaratnam 2016). Yeniden analiz KSE, temel olarak ERA5-land (Muñoz-Sabater vd. 2021, Balsamo vd. 2015), ERA-Interim (Dee vd. 2011), MERRA-2 (Gelaro vd. 2017) ve MERRA land (Reichle vd. 2011) verilerini içermektedir. Veri asimilasyonu KSE, esas olarak GlobSnow (Luojuş vd. 2021) ve Küresel Yer Yüzeyi Veri Asimilasyon Sistemi (GLDAS-Global Land Data Assimilation System) (Rodell vd. 2004) verilerini içerir. Saha gözlem verileri, temel olarak küresel ölçekte uzun vadeli hava durumu verileri toplayan bir veri tabanı olan, GHCN (Global Historical Climatology Network) veri setini içerir (Menne vd. 2012).

Uzaktan Algılama yöntemiyle yapılan kar ölçümleri saha ölçümleri olmadığı için dolaylı ölçümlerdir. Bu nedenle, bu ölçümlerin doğruluklarının niceliksel olarak ölçülmesi gerekmektedir (Dong ve Peters-Lidard 2010, Frei vd. 2012). Bu sebeple, UA yöntemiyle elde edilen kar verilerinin güvenilirliği, doğruluğu ve olası hatalarının belirlenmesi için kapsamlı bir şekilde doğrulanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrulama çalışmaları, UA ile kar ürünleri elde etmek için kullanılan algoritmaların iyileşmesine yönelik çalışmalar açısından da önemlidir (Dozier 1992, Foster vd. 1997, Brown vd. 2003, Hosaka vd. 2005, Clark vd. 2006).

Bu çalışmada Urmiye gölü havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Urmiye gölü havzasının bulunduğu İran'ın kuzeybatısı soğuk, yağışlı ve Akdeniz İkliminin hakim olduğu bir bölge olduğu için kar, kışın su depolama ve ilkbaharda doğal bir rezervuar olarak bölgede kar erimesinin meydana getirdiği yüzey akışları yanında bahar ve yazın ilk ayları boyunca yıllık toplam akım hacminin artmasında büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, özellikle kuruma tehlikesi ile karşı karşıya olan Urmiye Gölü ve büyük barajların bulunduğu Urmiye Gölü Havzası'nda kış aylarında biriken kar miktarının alansal ve zamansal olarak takip edilmesi havzanın su kaynaklarının yönetimi ve verimli şekilde kullanılması açısından önemlidir.

Son aylarda yayınlanan ve Urmiye Gölünün kuruması ile ilgili son 40 yılda yapılan çalışmaların incelendiği bir çalışmada (Parsinejad vd. 2022) bölgede kar yağışı ve ilişkili parametrelerle ilgili bir çalışma yapılmadığını belirtilmiştir. Göl ile ilgili yapılan sayısız çalışmada iklim değişikliği açısından yağışın azalması ve sıcaklığın artmasını dikkate alarak kuraklık analizleri yapıp çeşitli sonuçlara varıldığı tespit edilmiştir (Alizade Govarchin Ghale 2020, Parsinejad vd. 2022).

ABD'de bulunan Great Salt Gölü ile Urmiye Gölü'nün fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirine çok benzemektedir (Eimanifar ve Mohebbi 2007). Tuzlu göller, hidrolojik bütçelerindeki ufak değişikliklerle duyarlı olduklarından dolayı çevresel değişikliklere karşı hassastır (Romero ve Melack 1996). Son 50 yıldır, çevresel sorunlarla mücadele eden Urmiye Gölü, uluslararası alanda da önemli bir yaşam alanı olarak tanınmaktadır. Göllerdeki su kaynaklarının araştırılması, küresel ve yerel ölçekte uzun yıllardır

öncelikli bir konu olarak kabul edilmektedir. İklim değışikliği ve dünya nüfusunun artmasıyla birlikte artan gereksinimler sebebiyle bu kaynakların önemi gelecekte daha da artacaktır. İran'da yeraltı su kaynaklarının tükenmesi ve kirlenmesi, diğer ülkelerde de olduğu gibi önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Urmiye Gölü ve çevresindeki yeraltı su kaynakları, önemli bir su kaynağı olmasının yanı sıra, ekolojik çeşitlilik açısından da oldukça önemlidir. Bu tür sulak alan ve su kaynakları, Ortadoğu'nun coğrafi özellikleri nedeniyle bölge için hayati önem taşımaktadır. Ancak Urmiye Gölü'nün son yıllardaki değışimleri, gölün etrafındaki yeraltı su kaynaklarını da olumsuz etkilemiştir (Mosayyebi 2017).

Urmiye gölü havzasının yüksekliği ortalama 1800 m olduğundan (Parsinejad vd. 2022) kış aylarında yağış genelde kar şeklinde düşmektedir. Düşen kar, özellikle bölgenin yüksek kesimlerinde neredeyse yılın yarısında yerde kalmaktadır. Sıcak yaz aylarında, karlar hızla erimeye başlar ve bu ise nehirlerin debisinin artmasına yol açmaktadır. Urmiye gölü havzasında özellikle kar ölçümleri dünyanın geri kalanında olduğu gibi oldukça sınırlıdır. O yüzden bu iklim parametresi çoğu zaman göz ardı edilmiştir.

Bu çalışmanın ana amacı, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak 1985-2022 yılları arasında Urmiye Gölü Havzası'nda kar örtüsü ve KSE'nin miktar ve dağılımının, yersel ölçümlerle karşılaştırılarak, yine yersel ölçümler ile belirlenen mevsimsel akış miktarı ve gölün su seviyesi değışimine olan etkisini ortaya çıkarmak ve meteorolojik faktörlerin özellikle kar yağışı azalmasının soruna etkisinin belirlemektir. Yapılan literatür taramasında Urmiye Gölü havzasında daha önce benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 KSE ve Kar Örtüsünün Uzaktan Algılanması

Günümüzde, dünya genelinde kar-su eşdeğerine ilişkin birçok veri türü bulunmaktadır. Bu veriler, türlerine göre yer gözlemi kar-su eşdeğeri, uzaktan algılama, yeniden analiz, veri assimilasyonu ve model simulasyonu şeklinde sınıflandırılabilir. Uzaktan algılama yoluyla elde edilen kar-su eşdeğerleri çoğunlukla AMSR-E (Kelly 2009) ve AMSR-2 olarak bilinmektedir (Imaoka vd. 2010, Tedesco ve Jeyaratnam 2016).

Yer istasyonları ve meteorolojik gözlemlerden elde edilen KSE verileri, hidrometeorolojik ve iklim değişikliği araştırmalarının gereksinimlerini karşılayamamaktadır. Bunun başlıca nedeni, istasyonlardan gelen KSE verilerinin zaman serilerinde süreksiz (kesintili) olması ve ciddi şekilde eksik olmasıdır. Ayrıca, hidrometeorolojik çalışmalar genellikle mekânsal ve zamansal olarak sürekli ızgara veriler gerektirir (Pan vd. 2003).

Yeniden analiz KSE, temel olarak ERA5-land (Muñoz-Sabater vd. 2021, Balsamo vd. 2015), ERA-Interim (Dee vd. 2011), MERRA-2 (Gelaro vd. 2017) ve MERRA land (Reichle vd. 2011) verilerini içermektedir. Veri asimilasyonu KSE, esas olarak GlobSnow (Luoju vd. 2021) ve Küresel Yer Yüzeyi Veri Asimilasyon Sistemi (GLDAS-Global Land Data Assimilation System) (Rodell vd. 2004) verilerini içerir. Saha gözlem verileri, temel olarak küresel ölçekte uzun vadeli hava durumu verileri toplayan bir veri tabanı olan, GHCN (Global Historical Climatology Network) veri setini içerir (Menne vd. 2012).

AMSR-E ve AMSR-2 verilerinin zaman aralıkları sadece 2002'den günümüze kadar olup, zaman serileri analizi açısından yetersizdir. Benzer şekilde, GlobSnow KSE veri seti de zaman serilerinde ciddi şekilde eksiktir. Yeniden analiz KSE verilerinin, iyi bir mekânsal ve zamansal sürekliliğe ve yüksek veri bütünlüğüne sahip olmasına rağmen, doğrulukları bölgeden bölgeye değişmektedir (Snauffer vd. 2016).

ERA5-LAND, KSE verileri açısından diğer uzaktan algılanan veri setleriyle kıyaslandığında daha yüksek bir hassasiyet sunar. Bu veriler, su kaynakları yönetimi, iklim tahmini ve birçok diğer alanda önemli bir veri kaynağı olarak kullanılabilir (Hersbach vd. 2020, Li vd. 2021)

GLDAS, veri asimilasyon tekniklerini kullanarak uydu ve yer tabanlı gözlemsel verileri modelleyerek yer yüzeyindeki hidrolojik ve meteorolojik veriler oluşturmaktadır. GLDAS verileri, özellikle yer tabanlı verilerin bulunmadığı bölgelerde birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. GLDAS tarafından sağlanan veriler, yağış, kar ve buharlaşma (evapotranspirasyon) gibi yer yüzündeki su döngüsü bileşenlerinin doğru bir şekilde modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bu veriler aynı zamanda, su kaynaklarının yönetimi, kuraklık yönetimi, tarım verimliliği ve sel tahmini gibi çalışmaları için son derece önemlidir (Ferreira vd. 2014).

Uzaktan algılama yoluyla elde edilen kar suyu eşdeğeri verileri, yeniden analiz verileri, veri asimilasyon sistemi verileri ve saha gözlem verileri arasında büyük farklılıklar vardır. Uzaktan algılama verileri için, farklı pasif mikrodalga kar suyu eşdeğer verilerinin mekânsal ve zamansal çözünürlük özellikleri, sensörlerdeki veya kullanılan algoritmalarındaki farklılıklar nedeniyle önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Mudryk vd. 2015).

Veri asimilasyon sistemleri ve yeniden analiz kar su eşdeğeri verileri ise model tasarımı, girdi verileri, asimilasyon yöntemleri vs. farklılıklar nedeniyle farklı uzay-zamansal özellikler gösterme eğilimindedir (Vuyovich vd. 2014).

Özetle, dünya genelinde birçok kar-su eşdeğeri verisi olmasına rağmen, veri kalitesi belirsizdir ve farklılık gösterir. Önceki çalışmalar, Kuzey Yarıküre'deki tüm kar-su eşdeğeri verilerinin avantajları ve dezavantajları olduğunu ve hiçbirinin tüm açılardan iyi performans göstermediğini göstermiştir (Mortimer vd. 2020).

Uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen yerel ve küresel ölçekteki kar ürünlerinin doğrulanması için en sık kullanılan yöntemlerden biri, yer bazlı ölçümlerle UA

yöntemiyle elde edilen verilerin karşılaştırılması ve test edilmesidir (Tekeli vd. 2005, Hall ve Riggs 2007, Wang vd. 2009, Byun ve Choi 2014, Sönmez vd. 2014).

Uzaktan algılama yöntemi ile kar örtüsünün hesaplanması ve kar örtüsü verilerinin hidrolojik modellerde kullanılması İran'da bazı araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Dehghani vd. 2010, Mir Yaghoobzadeh ve Ghanbarpour 2010, Delavar vd. 2012, Fathzadeh ve Zare Bidaki 2012). Bazı araştırmacılar (Rasouli ve Edhami 2008, Ashrafzadeh Afshar vd. 2016) dolaylı olarak uydu verilerinden elde ettikleri kar örtüsü verileri ve saha ölçüm verilerini kullanarak Thiessen yöntemi gibi hidrolojik yöntemlerle KSE'ni tahmin etseler de doğrudan KSE verilerinin uzaktan algılanması konusunda neredeyse hiçbir çalışma yapılmamıştır. Türkiye'de ise KSE'nin uzaktan algılanması konusunda sınırlı sayıda ve dünya genelinde birçok çalışma bulunmaktadır.

Tekeli (2008), yaptığı çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi için yer gözlem verileri ile AMSR-E'den elde edilen kar suyu eşdeğeri verileri arasındaki tutarlılığı incelemiştir. Çalışmada tahmin verilerinin doğruluğunu değerlendirmek için 2002-2003 yılı için saha ölçüm verileri kullanılmıştır. Sonuçlara göre tahmin verileri topografya ve arazi örtüsünden etkilenmektedir.

Tong ve Velicogna (2010), AMSR-E verilerini kullanarak Kanada'nın önemli bir su havzasında KSE'ni tahmin etmiştir. Sonuçlara göre ortalama mutlak hata (MAE) kışın başlangıcında 12 mm'den kışın sonlarına doğru 50 mm'ye kadar değişmektedir.

Byun ve Choi (2014), Kore'nin 4 farklı bölgesinde AMSR-E verilerini kullanarak KSE verilerini elde etmişler ve verilerin doğruluğunu değerlendirmek için 2002-2011 yılları arasında 9 yıllık yersel verilerle karşılaştırmışlar. Sonuçlar, tahmin verilerinin üç bölgede gerçek verilerden daha fazla olduğunu ve bir bölgede gerçek verilerden az olduğunu göstermiştir.

Liang vd. (2015), Çin'in kuzey batısındaki bir havzada AMSR-E verilerini kullanarak KSE verilerini elde etmişlerdir. Sonuçlara göre ölçüm verileri ile tahmin verileri

arasında hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) ve korelasyon (r) değerleri sırasıyla 32.87 milimetre ve 0.47 olarak belirtilmiştir.

Yang vd. (2015), Çin'de AMSR-E pasif mikrodagla sensörü verilerinden elde edilen KSE verilerini incelemişler. Sonuçlar, KSE verilerinin elde edilmesinde kullanılan algoritmanın topografya ve bitki örtüsünden etkilendiğini ve yoğun bitki örtüsü olan alanlarda bitki örtüsü az olan alanlarla kıyasla daha fazla hata yapma olasılığını göstermiştir.

Dziubanski ve Franz (2016), Amerika'nın kuzeyinde debi simülasyonu yapmak için AMSR-E KSE verilerini Snow17 modelinde kullanmışlardır. Sonuçlar AMSR-E verilerinin kullanılması sonucu simülasyonun iyileşmesine neden olduğunu göstermiştir.

Snauffer vd. (2016), vd. Kanada'da yaptıkları çalışmada UA ve GLDAS modeli verilerinden elde ettikleri KSE'ni değerlendirmişlerdir ve KSE tahminindeki en fazla hata olasılığı, karmaşık topografyaya sahip alanlarda ortaya çıkmıştır.

Jiang vd (2014), yaptıkları çalışmada AMSR-E verilerini kullanarak elde ettikleri KSE'nin ormanlık ve yoğun bitki örtüsü olan alanlarda çorak ve bitki örtüsü az olan alanlarla kıyasta daha fazla hata yapma olasılığını ortaya koymuşlar.

Baba vd. (2021), Atlas yüksekliklerinde kar suyu eşdeğerinin (KSE) mekansal dağılımını hesaplamak için Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından geliştirilen ERA5 ve NASA'nın atmosferik koşulları yeniden analiz etmek için kullandığı MERRA-2 modelinin kar su eşdeğeri verilerinin performansını değerlendirmişlerdir. İki farklı iklim yeniden analiz yöntemi olan ERA5 ve MERRA-2 grid verileri, 200 metre mekânsal çözünürlüğe küçültülerek SnowModel adlı bir dağıtık kar örtüsü modelin çalıştırılmasında girdi olarak kullanılmış. Model, 1981-2019 yılları arasındaki 37 su yılı için çalıştırılmış ve çıktıları, nehir debisi, kar yüksekliği ve MODIS kar kaplı alan gözlemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar,

MERRA-2 ve ERA5 kar suyu eşdeğeri verilerinin iyi bir performans gösterdiğini göstermektedir. Yapılan analizler sonucunda, SnowModel modelinin ERA5 ve MERRA-2 verilerini kullanarak kar örtüsünü modellemede başarılı olduğu ve ERA5 verilerinin daha düşük hata payıyla sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Yin vd (2009), Multi-frekans, çift polarize mikrodalga radyometre sensörü olan Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (AMSR-E) ile elde edilen kar suyu eşdeğeri verilerinin doğruluğunu değerlendirmek için batı Çin'de bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, AMSR-E ile elde edilen günlük KSE verileri ile Tibet platosundaki 15 meteoroloji istasyonundan alınan yer ölçümleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, AMSR-E'nin bu bölgelerde KSE değerlerini fazla tahmin ettiğini ve RMSE'nin Tibet Platosunda 21 mm olduğunu göstermiştir. Tibet Platosunda karmaşık topoğrafya, yüzeysel yamalı kar ve donmuş zemin gibi faktörlerin etkisi nedeniyle, bu tekniğin iyi sonuçlar vermediği söylenmiştir.

Shao vd. (2022), farklı KSE tahmin yöntemlerinin doğruluğunu değerlendirmişlerdir. Çalışmada 2015 ila 2019 yılları arasında RRM KSE (Bölgesel Regresyon Modeli Kar Su Eşdeğeri), AMSR-E/AMSR-2, ERA-Interim, GLDAS, GlobSnow ve ERA5-land kar suyu eşdeğeri verileri karşılaştırılmıştır. MAE, RMSE, R ve R^2 gibi istatistiksel ölçümler, her bir kar suyu eşdeğer ürününün veri kalitesini yansıtmak için kullanılmıştır. Bu ölçümler, GlobSnow KSE ve ERA5-land KSE ürünlerinin genel doğruluğunun diğer kar suyu eşdeğer ürünlerinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, bu ürünlerin KSE tahmini konusunda daha iyi performans gösterdiğini ve bu nedenle bu ürünlerin KSE tahminlerinde tercih edilebileceğini düşündürmektedir. GlobSnow KSE veri seti ile yer gözlem istasyonlarında ölçülen kar suyu eşdeğer verileri arasındaki genel sapma küçük olsa da yersel ölçümlerle korelasyon ilişkisi ERA5-land KSE veri setinden daha düşük çıkmıştır. Ayrıca GlobSnow KSE veri seti, zaman serisi analizinde eksik veri içermiştir ve kar suyu eşdeğerinin değişimlerini tam olarak yansıtmamıştır. Sonuç olarak GlobSnow KSE veri setinin yer ölçümü değerleri ile daha düşük bir doğrusal ilişki gösterdiği ve zaman serisi analizlerinde KSE değişimlerini tam olarak yansıtmadığı ortaya çıkmıştır. Çalışmada ERA5-land KSE veri seti ile gözlemlenen kar suyu eşdeğerleri arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğu ve R -

R^2 değerleri sırasıyla 0.84 ve 0.70 olarak hesaplanmıştır. ERA5-land KSE veri seti ile yer ölçümleri arasındaki genel sapma GlobSnow KSE veri setinden daha yüksek olsa da korelasyon ilişkisinin GlobSnow KSE veri setinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, ERA-Interim KSE veri seti ve GLDAS KSE veri setinin genel doğruluğu, GlobSnow KSE veri seti ve AMSR-E/AMSR2 KSE veri seti ile karşılaştırıldığında düşük olsa da zaman serisi açısından daha kullanışlı veri seti olduğu belirtilmiştir. AMSR-E/AMSR2 ise, kar suyu eşdeğerlerini daha yüksek tahmin etmiştir. Sonuç olarak doğrulamada kullanılan ortalama mutlak hata (MAE) hesaplanarak farklı kar suyu eşdeğer veri setlerinin doğruluk sonuçları aşağıdaki gibi sıralanmıştır. GlobSnow KSE < ERA5-land KSE < AMSR-E/AMSR2 KSE < ERA-Interim KSE < GLDAS KSE.

Mudryk vd. (2015), uydu verileri, yer yüzü veri asimilasyon sistemleri (GLDAS), fiziksel kar modelleri ve yeniden analiz (ERA5) yöntemlerinin mekânsal ve zamansal tutarlılığını ölçmek için 1981-2010 dönemi boyunca günlük, grid bazlı, kuzey yarıküre kar suyu eşdeğer (KSE) veri kümesini incelemiştir. Çalışmanın sonuçları, yeniden analiz verilerinin diğer veri kaynaklarına göre daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, yeniden analiz yöntemlerinin diğer yöntemlere göre daha güvenilir ve tutarlı bir şekilde kar suyu eşdeğerini tahmin edebileceğini göstermektedir. Bu alışma, aynı zamanda kar suyu eşdeğerinin önemli bir hidrolojik değişken olduğu ve doğru ölçümlerin iklim değişikliği, su kaynakları yönetimi ve afet yönetimi gibi birçok alanda önemli olduğu gerçeğini vurgulamaktadır.

Derksen vd. (2005), Kanada'nın batısında Mikrodalga Özel Sensörü/Görüntüleyici (Special Sensor Microwave/Image-SSM/I) görüntülerini kullanarak KSE'ni tahmin etmişlerdir ve bu verilerin doğruluğunu değerlendirmek için saha ölçüm verileriyle karşılaştırmışlar.

Genellikle yapılan çalışmalarda, KSE verilerinin elde edilmesinde uzaktan algılama yöntemi ve pasif mikrodalga verileri kullanılmıştır.

Pasif mikrodalga KSE verilerinin su kaynaklarının izlenmesi ve yönetiminde kullanılması için bu verilerin doğrulanması gerekmektedir (Tong ve Velicogna 2010).

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometre-(MODIS), üç farklı mekânsal çözünürlükte 36 spektral bant ve 0,4-14,4 µm dalga boyu aralığında bir günlük yüksek zamansal çözünürlük ile yerel ve küresel ölçeklerde kar örtüsü haritalaması için yaygın olarak kullanılan bir araçtır (Hall vd. 2002, Rodell ve Houser 2004, Wang vd. 2008).

Tuttu ve Kuter (2020), 2017-2018 Türkiye kar sezonuna ait 206 MODIS EKKA görüntüsünü, Sentinel 2 ikili kar haritalarından elde edilen referans EKKA haritalarını kullanarak test etmişlerdir. Analizlerde kullanılan Sentinel 2 görüntüleri, bulutluluk oranı maksimum %30 olacak şekilde seçilmiştir. Genel sonuçlar, MODIS EKKA ürünü olan MOD10A1'in RMSE = 0,13 ve R = 0,88 değerleri ile oldukça iyi bir performans sergilediğini göstermiştir. Ay bazlı performans metrikleri analiz edildiğinde, MOD10A1 ürününün doğruluğunun Nisan ayında düştüğü ve bu davranışın temel olarak erime süresi boyunca yamalı kar örtüsüne bağlandığı gözlenmiştir.

Li vd. (2018), Çin'in Kuzey Xinjiang bölgesinde 2003 ile 2016 yılları arasındaki dönemde MODIS kar örtüsü aylık ürününün doğruluğunu incelemiştir. Doğrulama işlemi, GEE (Google Earth Engine) bulut platformu kullanılarak yapılmıştır ve doğrulama için Landsat aylık verileri gerçek veriler olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, GEE JavaScript programı kullanılarak MODIS kar örtüsü ürününün doğruluğu değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kar sezonu boyunca MODIS kar örtüsü ürününün eksik veri oranından daha az hata oranına sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlara göre, MODIS kar örtüsü ürünü ortalama olarak %88.94 doğruluk oranına sahiptir. Ayrıca, GEE bulut hesaplama kullanarak, büyük veri yığınlarının toplu işleme tabi tutulabileceği ve bu verilerin indirilmek zorunda olmadığı belirtilmiştir. Bu yöntem, büyük miktarda veri işlemeyi kolaylaştırmak için kullanılabilir. GEE platformu, güçlü mekânsal analiz yeteneğine sahiptir ve paralel hesaplama desteği ile işlem hızını artırmaktadır. Bu platform sayesinde diğer görüntü işleme programlarına göre işlem süresi büyük ölçüde azaltılabilir. GEE platformu, yüksek verimlilikle kar ürünlerinin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılabilir ve zaman serisi analizlerini daha doğru ve kısa bir sürede gerçekleştirebilir.

MOD10A1 kar ürününü geliştirmek için kullanılan kar örtüsü algılama algoritması, bir günde alınan tüm MODIS görüntülerini kullanarak NDSI (Normalize Edilmiş Fark Kar İndeksi) indisi ile en iyi gözlemi seçmektedir. Bu sayede, MODIS MOD10A1 ürünü, kar örtüsünü hassas bir şekilde tespit edebilmekte ve görüntülerden elde edilen veriler kullanılarak kar örtüsü haritaları oluşturulabilmektedir (Baker 2011).

Wang vd. (2016), MODIS bulut maskesini NASA tarafından yürütülen Cloud Sat-Cloud-Aerosol ve Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO) (C-C) projesinin bulut maskesi ile karşılaştırmışlar ve iki yöntemin sonuçları arasında %77.8 oranında bir uyum bulmuşlardır. CloudSat, radar verileri kullanarak bulutların dikey yapılarını incelemekte ve bu sayede bulutları daha net tespit etmektedir (Wang vd. 2016).

MODIS bulut tespit algoritması, kutup bölgeleri üzerinde değerlendirilmiştir ve gündüz gözlemleri için %20'ye kadar hatalı sınıflandırma oranları sergilemiştir (Liu vd. 2004). MODIS görüntülerinin beşinci koleksiyonunun (C5-Collection 5) yayınlanmasıyla birlikte, bulut maskesinde önemli iyileştirmeler yapılmıştır (Frey vd. 2008).

MODIS görüntülerinin altıncı koleksiyonu (C6-Collection 6), MODIS verilerinin farklı sürümleridir. C6, önceki sürümlere göre bazı geliştirmeler içermekte ve daha yüksek kaliteli veriler sunmaktadır. Di Tomaso vd. (2017), MODIS C6 bulut maskesinin doğruluğunu, yer gözlem istasyonundan toplanan verilerle karşılaştırılmıştır ve MODIS C6 bulut maskesinin yüksek doğruluk oranları gösterdiğini ortaya koymuştur.

Ackerman vd. (2008), MODIS bulut maskesini yer tabanlı Lidar ve uydu kaynaklı Lazer Altimetre verileriyle karşılaştırmıştır ve yöntemler arasında %85 uyum olduğunu tespit etmiştir.

Ault vd. (2006), MODIS bulut örtüsü tespitini saha gözlemleriyle karşılaştırmış ve %86-92 arasında bir uyum bulmuştur. Bu çalışmalara dayanarak, ek bulut maskeleyme olmadan MOD10A1 verilerini olduğu gibi kullanmak mümkündür.

Rasouli (2006), Urmiye Gölü'ndeki su yüzeyi değişimlerini araştırmak amacıyla Uzaktan algılama ve CBS yöntemlerini kullanarak çok zamanlı uydu görüntülerini analiz etmiştir. Yapılan çalışmada özellikle 2000'li yıllarda önemli değişimlerin olduğu tespit edilmiştir ve 1970'li yıllara göre, su seviyesinin yaklaşık 4 metre azaldığı belirlenmiştir.

Trend analizi, yağış, sıcaklık ve yüzey akış gibi hidroiklim verilerin gelecekteki trend değişiklikleri hakkında faydalı bilgiler sağlayabilen bir araçtır. Hidrolojik trendleri belirlemek için parametrik ve parametrik olmayan testler kullanılmaktadır (Chen vd. 2007). Ancak, parametrik testler bağımsız verileri gerektirdiği ve bu verilerin normal olarak dağıldığı varsayımına dayandığından, hidrolojik zaman serileri için nadiren doğru sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, parametrik olmayan testler daha yaygın olarak kullanılmaktadır ve aykırı değerleri daha iyi tolere edebilirler. Mann-Kendall testi, hidrolojik zaman serilerindeki trendleri değerlendirmek için en yaygın parametrik olmayan testtir (Mann 1945, Yue vd. 2002, Shadmani vd. 2012).

Çelik (2010), yaptığı çalışmada, Gediz Havzası'nda meydana gelen iklim değişikliklerinin akarsu akımına etkisini incelemiştir. Bu amaçla, iklim ve akım verilerine istatistik testleri, regresyon analizi ve Mann-Kendall trend analizi uygulanmıştır. Regresyon modeli sonuçlarına göre, maksimum ve toplam yağışlarda kış mevsiminde önemli ölçüde azalma tespit edilmiştir. Mann-Kendall trend analizine göre, sadece kış mevsimi açısından anlamlı bir trend belirlenmiştir. Sıcaklık için yapılan Mann-Kendall trend analizine göre ise, yaz mevsiminde minimum sıcaklıklarda anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Ayrıca, yağışlardaki değişimin havzadaki akım üzerinde etkisi de incelenmiştir. Bu bağlamda, Gediz Havzası'nda sıcaklıklardaki artışa ve yağışlardaki azalmaya bağlı olarak akım değerlerinde anlamlı bir azalma trendi tespit edilmiştir.

Yurtcu (2016), yaptığı araştırmada Eber Gölü'nde su seviyesi değişimlerinin hidrometeorolojik değişkenler tarafından nasıl etkilendiğini belirlemek için çok değişkenli doğrusal regresyon (multiple linear regression) modeli kullanmıştır ve su seviyesi değişimlerinin önemli ölçüde yağış ve sıcaklık değişimleri tarafından etkilendiğini tespit etmiştir.

2.2 Urmiye Gölü Havzası Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bu aşamada Urmiye Gölü'nün kurumasında tarım alanlarındaki artış, baraj inşaatları, havzalar arası su transferi, iklim faktörleri, akarsu debileri ve yüzey akışlardaki değişimlerin etkilerini rapor eden 120'den fazla makale incelenmiştir. İncelenen makalelerin hiçbirinde karla ilgili bir çalışma yapılmadığı anlaşılmıştır. Parsinejad vd. (2022), Urmiye Gölü'nün kuruması ile ilgili son 40 yılda 200'den fazla araştırmayı incelemişler. Aşağıda incelenen makalelerin özeti getirilmiştir.

İncelenen 120 makaleden 63'ü kombinasyonel etkileri tartışmışlar. Genel olarak yapılan araştırmalar, antropojenik faktörlerin (insani müdahalelerin) Urmiye Gölü'nün seviyesindeki azalmaya sebep olduğunu, iklim faktörlerinin ise daha küçük veya hiçbir etkisi olmadığını göstermektedir. Alizade Govarchin Ghale vd. (2018), Alizadeh-Choobari vd. (2016), Chaudhari vd. 2018, Hamzekhani vd. (2016), Hassanzadeh vd. (2012), Pooralihosseini ve Delavar (2020) bu görüşü kendi çalışmalarında ortaya koymuşlardır (Parsinejad vd. 2022).

Bu araştırmacılar antropojenik etkileri genellikle iki şekilde incelemişler: (1) Tarım, barajlar ve su yönetimi gibi insan kaynaklı etkilerin gölün kuruması üzerindeki doğrudan etkilerini değerlendirerek, ve (2) antropojenik faaliyetlerin göl üzerindeki etkilerini iklim değişkenlerinin analizi yoluyla dolaylı olarak değerlendirerek, insan faaliyetlerinin gölün durumunu nasıl etkilediğini ortaya koymuştur. Sonuçta iklim değişkenlerinde önemli bir eğilim tespit edilmediği için, göl kurumasının insan faaliyetlerine bağlı olduğu belirtilmiştir. Diğer çalışmalar, insan ve iklim etkilerini değerlendirmek için simülasyon, tahmin modelleri ve uydu görüntülerini

kullanmışlardır (Chaudhari vd. 2018, Dehghanipour vd. 2019, Delavar vd. 2020, Hassanzadeh vd. 2012, Hosseini-Moghari vd. 2020, Shadkam vd. 2016).

Yapılan araştırmalara göre Urmiye Gölü'ndeki su miktarındaki azalmaya iklimsel ve antropojenik faktörlerin katkısı Çizelge 2.1 ve 2.2'de getirilmiştir.

Çizelge 2.1 Urmıye gölü'ndeki su miktarındaki azalmaya iklimsel ve antropojenik faktörlerin katkısı (Parsinejad vd. 2022)

Alıntılar	Havza	İklim faktörü etkisi (%)	İnsan faktörü etkisi (%)	Yöntem	Zaman aralığı	Bileşenler (%)
Hassanzadeh vd. (2012)	Tüm havza	10	90	Simülasyon tabanlı, dinamik sistemler	1967-2006	İklim değışikliği, yüzey su kaynaklarının aşırı kullanımı (65%) Barajların inşa edilmesi (25%) Yağış azalması (10%)
Hamzekhani vd. (2016)	Tüm havza	45	55	Simülasyon tabanlı, istatistiksel	1966-2011	Doğal kuraklık (%45) su çekimleri (%40) su projeleri (%15)
Shadkam vd. (2016)	Tüm havza	60	40	Simülasyon tabanlı, istatistiksel	1960-2010	Sulu tarım alanı (+%37) Urmıye Gölü'ne yıllık akış (-48%)
Chaudhari vd. (2018)	Tüm havza	14	86	Simülasyon tabanlı, hidrolojik model	1980-2010	Tarım alanı (+%98) Kentsel alanlar (+%180) Göl alanı (%-86) Bitki su ihtiyacı (+%300)
Alizade Govarchin Ghale vd. (2018)	Tüm havza	20	80	Simülasyon tabanlı, istatistiksel	1998-2010	Yeraltı sularının yanlış yönetimi (+%293, 1972-2012) Yüzey suyu yanlış yönetimi ve barajlar (+%233, 1970-2014) Sulanan alanların ikiye katlanması (1985–2010)
Farokhnia vd. (2018) Pooralihosseini ve Delavar- (2020)	Tüm havza Acıçay althavza	42 10-27	58 73-85	Simülasyon tabanlı, istatistiksel	1999-2009 1987-2007	Sulu tarım (+%400) Meyve bahçeleri (+%339) (1976–2007) Acıçay nehri verimi (%-73 ten -%85'e)
Hosseini-Moghari vd. (2020)	Tüm havza	52-57* 39-43**	43-48* 57-61**	Simülasyon tabanlı, istatistiksel	2003-2013	*Toplam havzadaki su kaybının yüzdesi **Urmıye Gölü su kaybının yüzdesi
Kanani vd. (2019)	Liğvan althavza	65-84	16-35	Simülasyon tabanlı, istatistiksel	1970-2014	Gölün beslenmesi: -39/45% Yerleşim alanları: +%88.9 Meyve bahçeleri: +%28.2 Mera: -%44 Kuru tarım: +%38.6

Çizelge 2.2 Tarımsal faaliyetlerin Urmıye gölü'ndeki azalmaya katkıları (Parsinejad vd. 2022)

Alıntılar	Havza	Yöntem	Değişken	Değişim oranı %	Zaman aralığı
Nazmfar vd. (2015), Fathi vd. (2015)	Tüm havza	Simülasyon	Su kütleleri Bitki örtüsü	-32 -20	1989-2011
Fathian vd. (2016b)	Doğu althavzaları	Simülasyon	Tarım alanı Meyve bahçeleri Kuru tarım alanı Mera alanı	+410 +330 +670 -41/-27	1976-2011
Shadkam vd. (2016), Chaudhari vd. (2018)	Tüm havza	Simülasyon, İstatistiksel	Sulanan alan Tarım alanı Kentsel alan	+37 +98 +180	1960-2010d 1987-2016
Farokhnia vd. (2018)	Tüm havza	Simülasyon	Sulanan alan Kuru tarım alanı Mera alanı	+32 +23 -5.8	1987-2007
Alizade Govarchin Ghale vd. (2018)	Tüm havza	Simülasyon, İstatistiksel	Ekilen ve hasat edilen alanlar	+200	1970-1999 1999-2013
Alizade Govarchin Ghale vd. (2019)	Tüm havza	Simülasyon, İstatistiksel	Sulanan alan	+437	1975-2011 2011-2018
Pooralihossein ve Delavar (2020)	Acıçay althavzası	Simülasyon, İstatistiksel	Sulanan alan Meyve bahçeleri	+400 +340	1976-2007
Bashirian vd. (2020)	Tüm havza	Simülasyon, İstatistiksel	Mera alanı Meyve bahçeleri	-2.76 +2.7	1984-2017

2.2.1 Tarımsal faaliyetlerinin genişlenmesi

Genel olarak, sulanabilir araziler 1988'den 2010'a kadar % 200 oranında (Alizade Govarchin Ghale vd. 2018) ve 1967'den 2007'ye kadar neredeyse % 400 oranında arttığı belirtilmiştir (Pooralihossein ve Delavar 2020). Sulanabilir arazilerdeki bu artış, büyük miktarda tatlı su kaynağının tüketildiğine işaret etmektedir (Parsinejad vd. 2022).

1995'ten 2010'a kadar, sulanabilir alanların hızlı genişlemesi, Urmiye Gölü havzasındaki sulama suyu ihtiyacını neredeyse üç katına çıkarmıştır (Alizade Govarchin Ghale vd. 2019, Farokhnia vd. 2018, Fathian vd. 2016b, Fazel vd. 2017, Hesami ve Amini 2016, Valizadeh Kamran ve Khorrami 2018, Mehrian vd. 2016, Pooralihossein ve Delavar 2020, Shadkam vd. 2016, Taheri vd. 2019). Bu nedenle, doğal akarsu debisi 1960'tan 2010'a kadar %48 azalarak gölün su seviyesinin düşmesine neden olmuştur (Shadkam vd. 2016). Bu faaliyetler, 1995'ten 2010'a kadar göl alanının %86 oranında küçülmesine neden olmuştur (Chaudhari vd. 2018) Ayrıca, 1976'dan 2015'e kadar Urmiye Gölü çevresinde tuzlulaşmış araziler 34 kat artmıştır (Nadizadeh Shorabeh vd. 2018, Parsinejad vd. 2022).

Yapılan araştırmalar havzanın farklı bölgelerinde tarım arazisi gelişiminin farklı şekillerde ve farklı oranlarda gerçekleştiğini ifade etmektedir. Örneğin, 1987 ile 2007 yılları arasında Doğu Azerbaycan ilinde sulu tarım arazileri %153 artarken, Batı Azerbaycan ilinde meyve bahçeleri %300 artmıştır (Farokhnia vd. 2018, Parsinejad vd. 2022).

Khazaei vd. (2019), 2000 yılından 2015 yılına kadar olan 15 yıllık süreçte, ilkbaharın ortasından yazın ortasına kadar geçen dönemde, tarım alanlarının %10'dan fazla arttığını belirtmişler (Parsinejad vd. 2022).

Bashirian vd. (2020), yağışa bağlı (kuru) tarım arazilerinin sulu arazilere dönüştürüldüğünü ve ekim desenleri baklagillerden daha fazla su gerektiren meyve bahçeleri, şeker pancarı, sebzeler, kavun ve karpuz gibi bitkiler için değiştirildiğini ortaya koymuşlar. Örneğin, elma, üzüm ve şeker pancarı tarlaları 1979 ile 2011 yılları arasında 160.000 hektardan 450.000 hektara artmıştır (Dalby ve Moussavi 2017). Başka

bir çalışma, sulu arazilerin yaklaşık 137.000 hektarlık (yüzde 32) bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur (Farokhnia vd. 2018, Parsinejad vd. 2022).

Yapılan araştırmalara göre tarımsal faaliyetlerin Urmiye gölü'ndeki azalmaya katkıları Çizelge 2.2'de getirilmiştir. Bu çalışmalar, farklı analiz yöntemleri ve farklı dönemleri kapsadıkları için sonuçlarda farklılıklara neden olabilmektedir. Dolayısıyla, bir çalışmanın sonuçları ile başka bir çalışmanın sonuçları arasında doğrudan karşılaştırma yapmak zordur. Farklı çalışmaların sonuçlarını karşılaştırmak istediğimizde, bu farklılıkların nedenlerini dikkate almak gerekmektedir. Bu nedenle, bir araştırmanın sonuçlarını yorumlarken, analiz yöntemleri ve dönemlerine dikkat etmek önemlidir (Parsinejad vd. 2022).

2.2.2 Havzadaki barajlar

Baraj inşaatı, sulanabilir arazilerin genişlemesini hızlandırmıştır ve Urmiye Gölü'nü besleyen akarsuların verimini azaltmıştır (Alizadeh-Choobari vd. 2016, Farokhnia vd. 2018, Ghashghaie ve Nozari 2018, Valizadeh Kamran ve Khorrami 2018, Parsinejad vd. 2022).

Barajların sayısı 1970 yılından 2017 yılına kadar bir barajdan 56'ya yükselmiştir. Barajların kapasitesi ise 198 MCM'den 1758 MCM'e yükselmiştir (Bozorg-Haddad vd. 2020, Parsinejad vd. 2022).

Bozorg-Haddad vd. (2020), sistem dinamik modeli kullanarak 1970 ile 2005 yılları arasında havzada inşa edilen altı farklı barajın gölün deşarjına etkisini incelemişler. Elde ettikleri sonuçlar, göle deşarjın yaklaşık %10 azaldığını göstermiştir (Parsinejad vd. 2022).

Modelleme çalışmaları, İklim değişikliğinin etkileri dikkate alınmaksızın inşa edilen barajların göl seviyesini daha da düşüreceğini öngörmektedir (Zeinoddini vd. 2015, Parsinejad vd. 2022).

2.2.3 Su kaynaklarının yanlış yönetimi

Yüzey ve yeraltı suyu çekimleri de gölü olumsuz yönde etkilemiştir, ancak bu iki su kaynağını nicel ve nitel olarak birbirine bağlayan az sayıda çalışmaya rastlanmıştır (Parsinejad vd. 2022).

Göl'e giren su miktarı 1995'ten 2016'ya kadar $3700 \text{ km}^3/\text{yıl}$ 'dan $700 \text{ km}^3/\text{yıl}$ 'a düşmüştür. Yasadışı yollarla yüzeysel su kaynaklarının sulama amaçlı kullanımının artması, kurak yıllarda su akışının azalmasına neden olmuş ve su akışı %40'a kadar azalmıştır (Shadkam vd. 2016, Parsinejad vd. 2022).

1998-2002 yılları arasındaki kaydedilen kuraklık döneminde, yıllık akış miktarının %48 azalması ve yüzey suyu çekimlerinin %25 artması sonucunda, göl seviyesindeki düşüş daha belirgin bir şekilde görülmüştür. Kuraklık döneminde daha az su gelmesine rağmen, insanların yüzey ve yeraltı sularından çektiği su miktarı arttığı için, göl seviyesi daha da hızlı bir şekilde düşmüştür (Alborzi vd. 2018, Parsinejad vd. 2022).

Zarrineh, Simineh ve Acıçay - göle su akışının neredeyse %90'ını sağlamaktadır. Bu üç nehrin üzerinde sulama amaçlı baraj inşa edilmiştir. 1965 ile 2013 arasında bu nehirlerin alt kısımlarındaki akış rejimi, başlangıç kısımlarına göre daha fazla değişmiştir. Sulu tarımın hızlı genişlemesiyle artan yeraltı suyu kullanımı ve aşırı kullanımı bu değişime sebep olmuştur. 1989'dan 2009'a kadar kuyu sayısı ise 55200'den 106200'e yükselmiştir (Bashirian vd. 2020). Başka araştırmalar, 50618 yasal ve 24700 ruhsatsız kuyu dahil olmak üzere yaklaşık 75000 yeni kuyunun açıldığını göstermiştir (Dalby ve Moussavi 2017, Stone 2015). Aynı zamanda, bir çalışmaya göre yeraltı suyu çekimleri yaklaşık $0.36 \text{ km}^3/\text{yıl}$ artmıştır (Dastranj vd. 2018, Parsinejad vd. 2022).

Bashirian vd. (2020), iki farklı zaman aralığında yeraltı suyu kaynaklarının kullanımındaki artışı ortaya koymuşlar. Çalışmada, 1989 ile 2009 yılları arasındaki dönemde yeraltı suyu çekimindeki artışın 1.45 'den $2.53 \text{ km}^3/\text{yıl}$ 'a yükseldiği, 1961 ile 2017 yılları arasında yeraltı suyu çekimindeki artışın 0.37 'den $2.26 \text{ km}^3/\text{yıl}$ 'a yükseldiğini belirtmiştir. Bu süreçte, 1998 ile 2010 yılları arasında ise yeraltı suyu çekimi en yüksek seviyeye ulaşılmıştır. 2011 yılından itibaren, ovalarda yaşanan

kuraklık ve yeraltı suyunun seviyesindeki düşüş nedeniyle su çekimi azalmıştır (Parsinejad vd. 2022).

Yeraltı suyunun aşırı kullanımı neticesinde ortalama yeraltı suyu seviyesinin yaklaşık 1 metre düştüğü belirtilmektedir (Alizade Govarchin Ghale vd. 2018, Alizade Govarchin Ghale vd. 2019, Ashraf vd. 2017, Khaki vd. 2018). Azalan yağış ve artan evapotranspirasyon nedeniyle yeraltı su kaynaklarının yenilenme hızı azalarak yeraltı suyu seviyelerinde düşüşe neden olmuştur (Hosseinzad vd. 2019, Tourian vd. 2015). Azalan yeraltı suyu seviyesi ise bazı bölgelerde yer çökmesine neden olmuştur (Nadiri vd. 2018, Valizadeh Kamran ve Khorrami 2018, Moghtased-Azar vd. 2012) ve yeraltı suyu kalitesini düşürmüştür (Hosseinzad vd. 2019). Yer altı su kaynaklarının aşırı kullanımı, artan tarım faaliyetleri ve kuyu sayısının artması sonucunda gölün kuzeyi, doğusu, güneyi ve batısındaki on iki su tabakasına (aküfer) tuzlu su sızması tespit edilmiştir (Jafari ve Eftekhari 2013). Gölün doğusundaki aküferler batı aküferlerine göre tuzlulaşmaya daha eğimlidir (Jafari ve Eftekhari 2013, Nakhaei ve Vadiati 2014, Parsinejad vd. 2022).

2.2.4 İklimsel faktörlerin uzun vadeli değişimi

Urmıye gölü havzasında uzun vadeli sıcaklık eğilimleri, ortalama olarak yıllık 0.05 °C artmaktadır (Alizadeh-Choobari vd. 2016, Delju vd. 2013, Farokhnia vd. 2018, Fathian vd. 2016a, Fathian vd. 2015). Aynı zamanda yağış miktarında belirgin bir artış veya azalış görülmemektedir (Alizadeh-Choobari vd. 2016, Chaudhari vd. 2018, Shadkam vd. 2016) (Çizelge 2.3). Diğer araştırmalara göre havzadaki yağış miktarı ya hafif bir azalma göstermiştir ya da uzun vadeli bir trend göstermemiştir (Fathian vd. 2015, Khazaei vd. 2019, Pooralihosseini ve Delavar 2020, Shokoohi ve Morovati 2015). İklim tahmin senaryolar ise gelecek yüzyılın sonunda sıcaklığın +1.5°C artacağını ve yağış miktarının 3 mm azalacağını öngörmektedir (Tisseuil vd. 2013, Parsinejad vd. 2022).

Sıcaklıktaki artış ve yağıştaki azalışa ek olarak, 1997-2010 ve 2002-2008 dönemlerinde göle akan nehirlerin debisi sırasıyla %55 ve %16 azalmıştır (Farajzadeh vd. 2014, Bagheri vd. 2017).

Fathian vd. (2015) ve (2016a), çalışmalarında havzadaki 17 farklı istasyondaki yağış ve akış verilerini analiz ederek ikisi arasında zayıf bir korelasyon ($R=0.39$) tespit etmişlerdir. Bu nedenle, akıştaki azalmanın sadece yağış miktarındaki azalmaya bağlı olmadığını ve diğer faktörlerin daha etkili olduğu gerçeğini ortaya koymuşlardır.

Moravej (2016), yaptığı araştırmada, zaman serisi analizi yaparak Urmiye Gölü havzasının sekiz alt havzasındaki yağış ve akış miktarının zamanla farklılıklar gösterdiğini tespit etmiş ancak, havzadaki akış azalmalarını destekleyecek herhangi bir iklimsel faktöre rastlamamıştır (Arkian vd. 2018, Moravej 2016). Buharlaştırma ve toprak nemi gibi diğer hidroiklim değişkenlerin de göl seviyesindeki düşüşle ilgisiz olduğu ortaya çıkmıştır (Khazaei vd. 2019, Parsinejad vd. 2022).

Çizelge 2.1 İklimsel faktörlerin uzun vadeli değişimi (Parsinejad vd. 2022)

Değişken	Alıntılar	Değişim	Zaman aralığı
Sıcaklık	Delju vd. (2013)	0.024 °C/yıl	1964–2005
	Fathian vd. (2015)	0.02–0.14 °C/yıl	1980–2007
	Alizadeh-Choobari vd. (2016)	0.02 °C/yıl	1951–2013
	Farokhnia vd. (2018)	0.04–0.07 °C/yıl	1987–2009
	Khazaei vd. (2019)	Trend yok	1981–2015
Yağış	Delju vd. (2013)	9.2% azalma	1964–2005
	Farajzadeh vd. (2014)	–1.1 mm/yıl	1997–2010
	Fathian vd. (2015)	–7.5 to 3.8 mmyear ⁻¹	1966–2007
	Alizadeh-Choobari vd. (2016)	–0.9 mm/yıl	1951–2013
	Shadkam vd. 2016	–1.12 mm/yıl	1960–2012
	Pooralihosseini and Delavar (2020)	Trend yok	1987–2007
	Khazaei vd. (2019)	Trend yok	1981–2015

Sonuç olarak yukarıda sıralanan araştırma sonuçları, tarım alanlarının genişlemesi, baraj inşaatı ve su kaynaklarının yanlış yönetimi gibi faktörlerin, sıcaklık artışı veya yağış azalması gibi iklimsel etkenlerden daha fazla gölün kuruması ve havzadaki sorunlarda pay sahibi olduğunu ortaya koymaktadır (Parsinejad vd. 2022). Ancak bütün bu çalışmalarda önemli bir iklim faktörü olan kar yağışı göz ardı edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

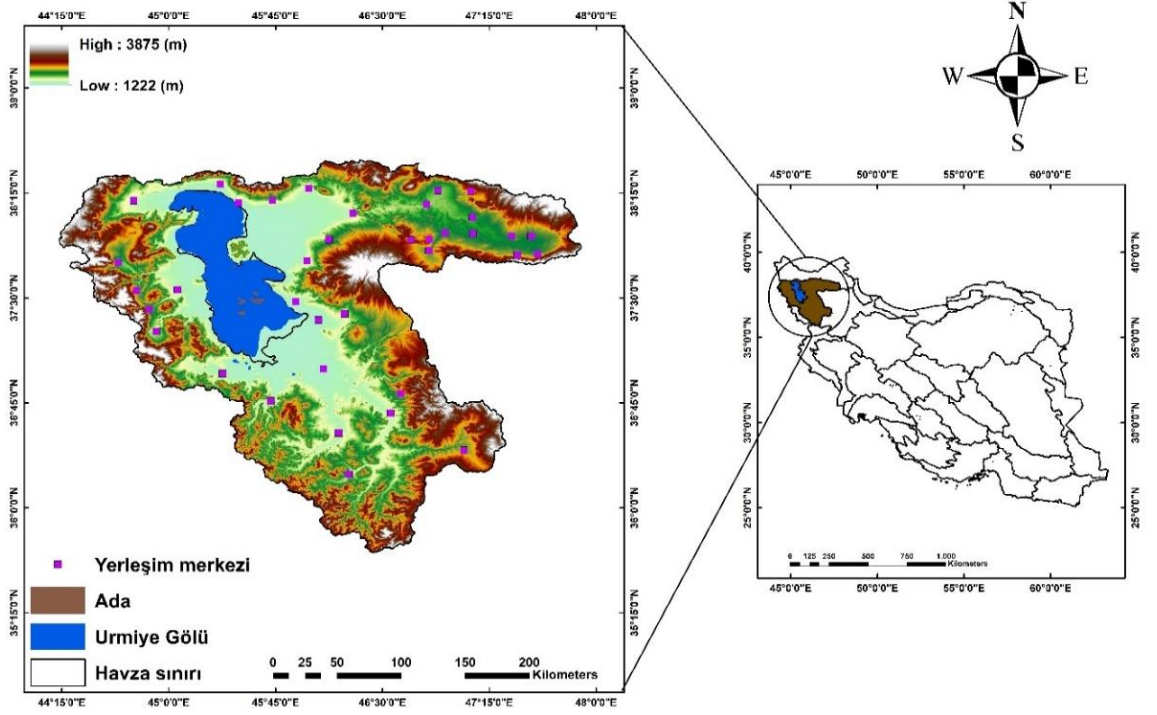
3.1 Materyal

Bu bölümde, çalışmada kullanılan veriler, platformlar ve çalışma alanı ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

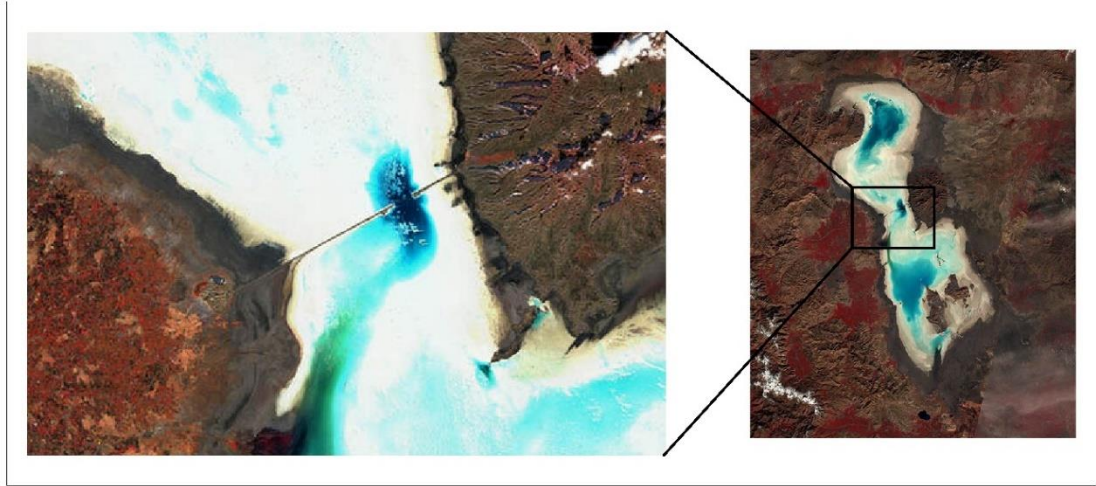
3.1.1 Çalışma alanı

Urmiye Gölü (37°06'27"-38°15'16" K, 45°02'10"-45°49'38" D) İran'ın kuzeybatısında, Doğu Azerbaycan ve Batı Azerbaycan eyaletleri arasında yer almaktadır (Şekil 3.1). Göl yüzey alanı 5822 km² olup, yüzölçümü bakımından dünyanın yirminci büyük gölü ve ikinci büyük tuz gölüdür (Eimanifar ve Mohebbi 2007). Bu bölgede yaklaşık 7 milyon kişi yaşamakta ve Urmiye Gölü bölge halkının yaşamında ve ekonomisinde çok önemli bir rol oynamaktadır (Alizade Govarchin Ghale vd. 2019). Gölü kuzey ve güney olarak ikiye bölen bir yol inşa edilmiş (Şekil 3.2) ve bu yol, gölün iki kısmında su geçişini engellemiş durumdadır. Sonuç olarak su, sadece yolun üzerinde inşa edilen 1500 metrelik köprünün altından geçebilmektedir (Ghaheri vd. 1999, Eimanifar ve Mohebbi 2007, Rezvantalab ve Amrollahi 2011, Sima vd. 2012).

Dünya'nın en büyük ikinci tuz gölü (Zarghami 2011) ve dünya biyosfer rezervi olan Urmiye Gölü, artemiyalar gibi besin zincirinin önemli canlıları ile göçmen kuşlar (Flamingo vs.) gibi canlılar açısından en önemli doğal yaşam alanları içerisinde yer alan uluslararası bir sulak alandır. Göl, yağışlar, mevsimlik ve sürekli akarsular ve yeraltı akımları ile beslenmektedir (Manaffar vd. 2011).



Şekil 3.1 Çalışma alanı



Şekil 3.2 Göl'ü kuzey ve güney olarak ikiye bölen yol

Gölün çevre uzunluğu 130 ile 146 km arasında değişmekte olup, genişliği ise en geniş yerinde 58 km, en dar yerinde 15 km'dir. Urmiye Gölü havzası 1222 m ile 3875 m arasında değişen yükseltilerle çevrilmiş ve havza alanı 51762 km² olup, bunun yaklaşık

5822 km² gölün kendi yüzey alanıdır ve su hacminin artması veya azalması ile değişir (ULRP 2015). Urmıye havzası İran'ın tüm alanının yaklaşık %3'ünü kaplamaktadır (Eimanifar ve Mohebbi 2007) ve Türkiye ve Irak'a komşudur.

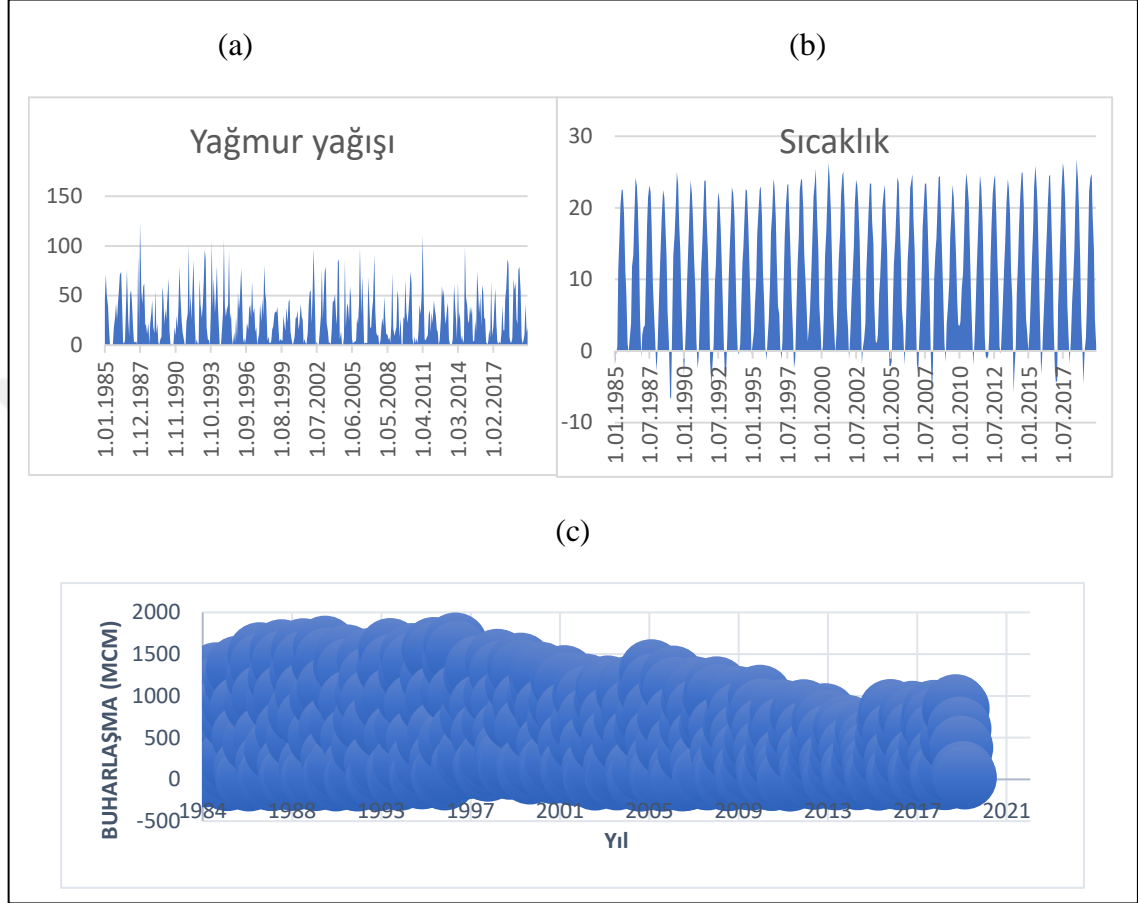
Urmıye Gölü havzasındaki toplam 533555 hektar sulak alanın 485000 hektarı Ramsar sözleşmesinde tescil edilmiştir. Çöle dönen ve göl tabanından biriken 8 milyar metreküp tuzun fırtınalarla, 500 km çaplı alanda etkili olmasından endişe edilmektedir (Şekil 3.3). Bu durumda Türkiye, Azerbaycan, Ermenistan, ve Irak'ta tarım ve şehirler olumsuz etkilenebilecektir (Alizade Govarchin Ghale 2020).



Şekil 3.3 Göl tabanında tuz birikimi

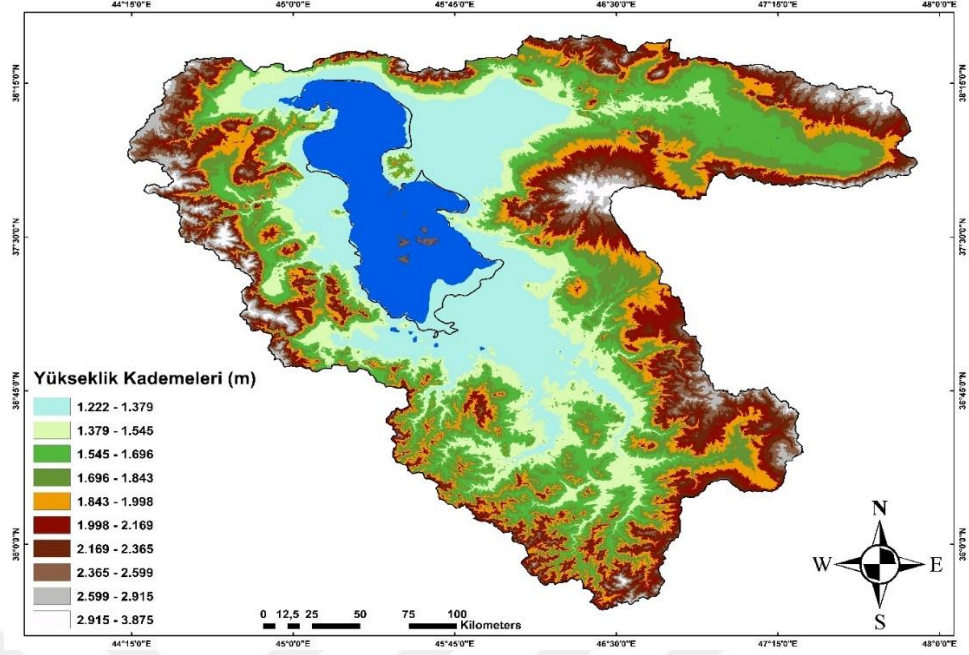
Havzadaki ortalama yağış miktarı 350 mm/yıl'dır (Parsinejad vd. 2022). Bölgenin iklim özellikleri çevredeki dağlardan etkilenmektedir ve hava sıcaklığı genellikle kışın 0 °C ile -20 °C arasında, yazın ise 40 °C'ye kadar çıkmaktadır (Eimanifar ve Mohebbi 2007). Doğrudan yağış, göle giren suyun yaklaşık %22'sini oluşturmaktadır. Göl üzerinden buharlaşmanın 580 ila 2000 mm/yıl olduğu rapor edilmiştir (Sima and Tajrishi 2015, ULRP 2015, IWRR 2020). Ayrıca göl yüzey buharlaşmasının belirlendiği çok sayıda farklı çalışma da bulunmaktadır (Sadra 2004, Sima ve Tajrishi 2015, Safaie vd. 2021). Doğrudan yağış ve yeraltı suyu kaynakları Urmıye Gölü'ne su girişinin %25'ini sağlarken nehirler su girişinin %75'ini sağlamaktadır (Eimanifar ve Mohebbi 2007,

Zarghami 2011, IWRMC, 2019). Şekil 3.4'te 1985 ile 2019 yılları arasında sıcaklık, göl üzerinden buharlaşma ve yağış miktarının değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Urmiye Gölü havzasındaki iklimsel parametrelerin uzun sürede değişimi. (a): 1985-2019 yılları arasında aylık yağmur değişimi. (b): 1985-2019 yılları arasında aylık sıcaklık değişimi. (c): 1985-2019 yılları arasında aylık göl üzerinden buharlaşma değerleri

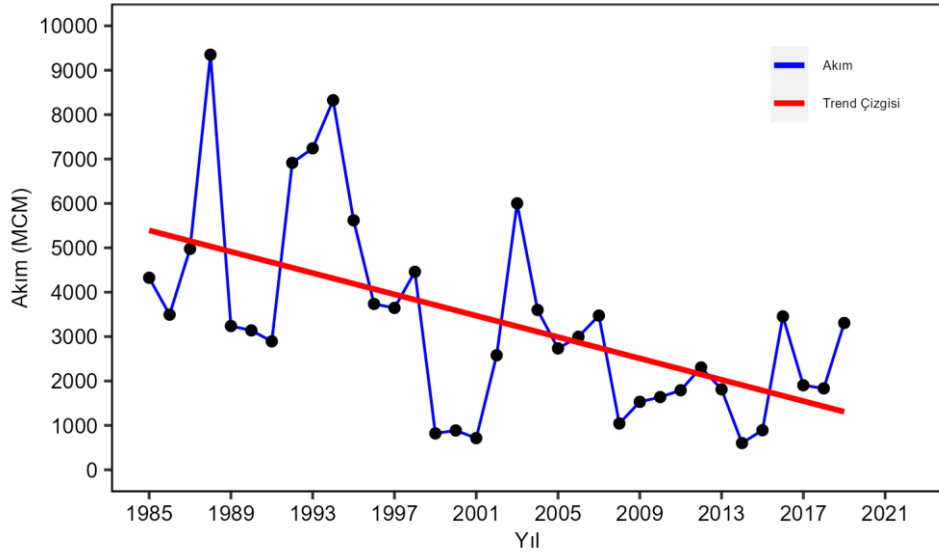
Urmiye Gölü'nün deniz seviyesinden yüksekliği 1274 metre olup, göl seviyesi yıllara bağlı olarak yaklaşık 4 metrelik değişim göstermektedir. Son 200 yılda, Urmiye Gölü'nün seviyesinde sürekli bir düşüş yaşanmaktadır (Eimanifar ve Mohebbi 2007). Havzanın göl tabanı kesimindeki yükseklik 1270 metre iken, batıda ve doğuda 3800 metre, güneyde ise yaklaşık 3000 metre yüksekliğe sahip alanlar bulunmaktadır (Şekil 3.5). Urmiye Gölü havzası, yüksek alanlarla çevrili olduğundan, havza içinde aylık ve yıllık yağmur, kar ve sıcaklık gibi iklim özellikleri farklılık gösterir (IWRR 2020).



Şekil 3.4 Urmîye Gölü havzasının yükseklik haritası

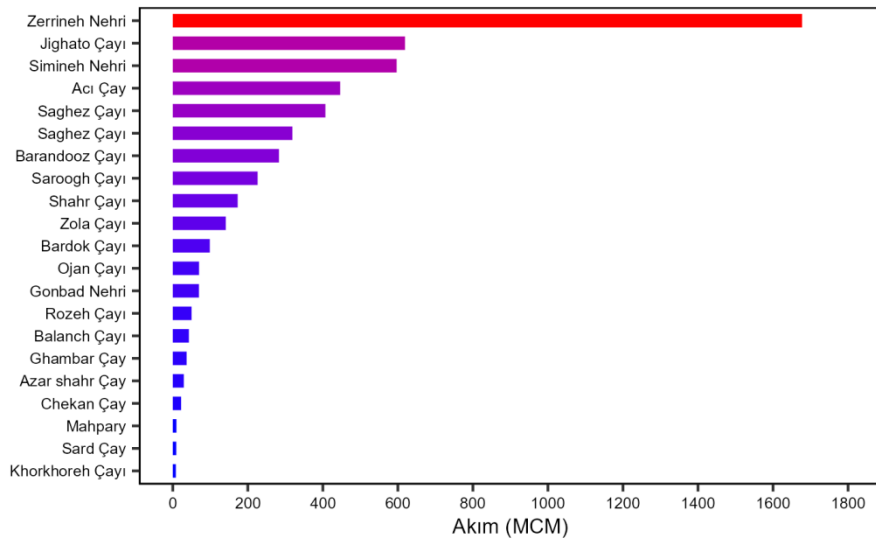
Gölü, Zarrineh ve Simineh nehirleri başta olmak üzere 14 sürekli ve 7 mevsimlik nehir beslemektedir. Bu iki nehir göl suyunun yaklaşık yarısını sağlamaktadır. Nehirlerin debisi mevsimseldir ve ilkbaharda yaz sonunda olduğundan neredeyse 50 kat daha fazladır. Göl havzasının önemli nehirleri şunlardır: Siminehrood (Cığatı), Zarrinehrood (Teto), Mahabad Çayı, Godar Çayı, Baranduz Çayı, Nazlı Çay, Rozha Çayı, Zola Çayı, Şeherçayı Batı Azerbaycan'da ve Acıçay, Leylan Çayı, Azerşehr Çayı, Galaçay, Mardukh Çay Doğu Azerbaycan'da ve Genellikle kış ve ilkbaharda ortaya çıkan mevsimlik Şivasan Çayı, Sınıkh Çayı, Tesuc Çayı , Deryan Çayı ve Gebi Çayı (ULRP 2021).

Havzada toplam 1,594 adet akarsu bulunmaktadır. Batı Azerbaycan Eyaleti nehirlerinden Urmîye Gölü'ne giren suyun payı %53, Kürdistan Eyaleti'nden %32 ve Doğu Azerbaycan Eyaleti nehirlerinden %15 dir. Urmîye Gölü havzasındaki en yoğun akarsu trafiği, genellikle güney kesiminde yoğunlaşmaktadır (Akar 2011). Şekil 3.6'da havzadaki tüm akarsu kolları ve ana nehirlerin uzunluğu ve bağlantıları gösterilmiştir.

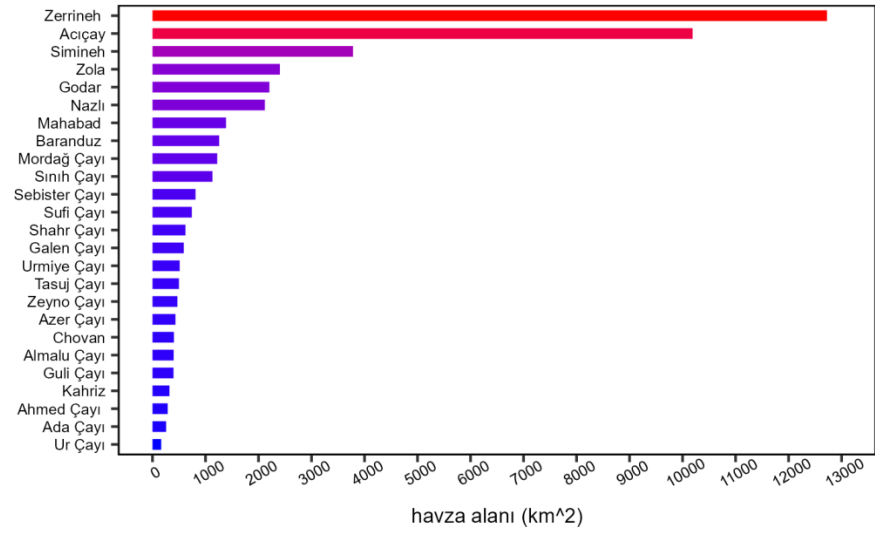


Şekil 3.6 Uzun süreli akarsuların Urmiye Gölü'ne boşalım değeri (IWRM)

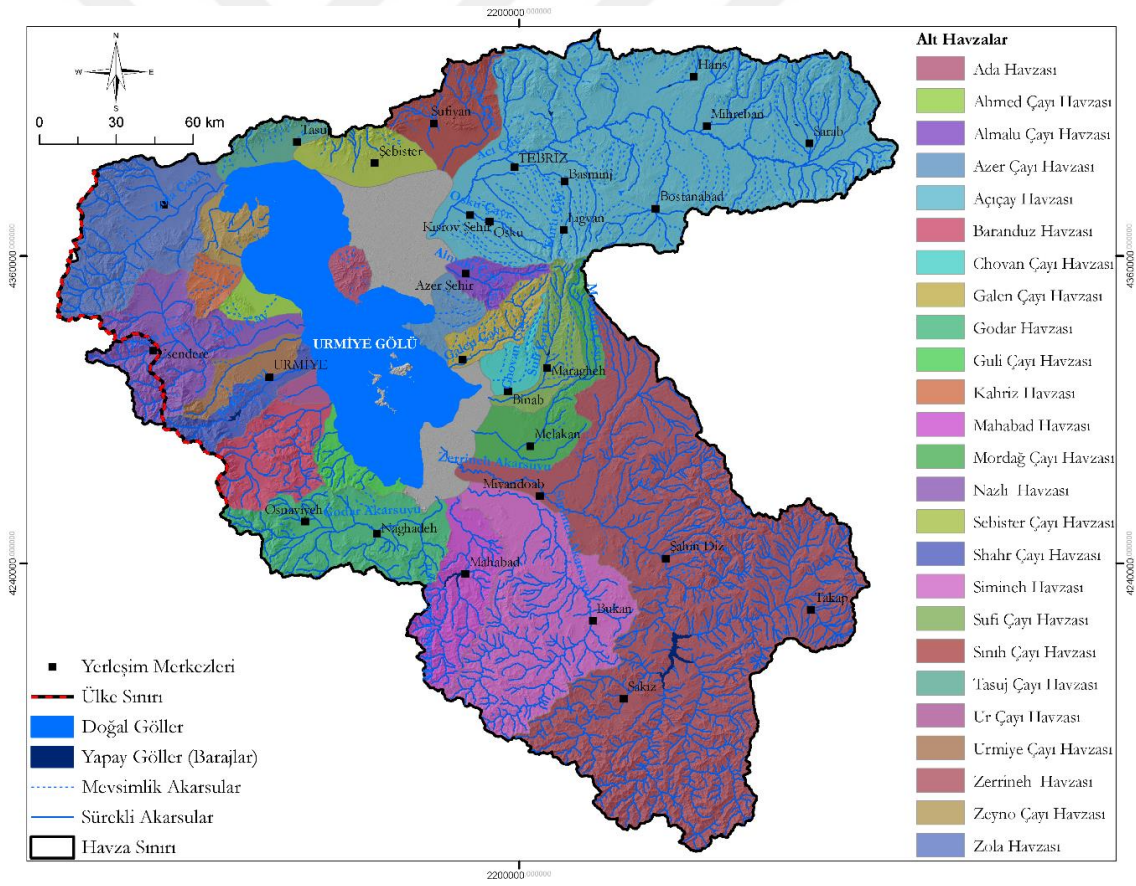
Urmiye Gölü havzasındaki en büyük alt havza, Zerrineh Nehri havzasıdır ve yıllık akım değeri diğer akarsulara göre oldukça yüksektir. Zerrineh Nehri'nin yıllık verimi 1677 MCM olarak ölçülmüştür (Şekil 3.8). Zerrineh Nehri aynı zamanda çalışma alanındaki en büyük alt havza alanına sahiptir (Şekil 3.9 ve 3.10). Zerrineh ve Simineh nehirleri, Urmiye Gölü'ne en yüksek miktarda su boşaltan akarsulardır. Akarsularla ilgili hidrometrik veriler İran Su Kaynakları Yönetiminden (IWRM) temin edilmiştir.



Şekil 3.7 Urmiye Gölü Havzasındaki akarsuların göle boşalım değeleri



Şekil 3.8 Urmie Gölü havzasındaki alt havzaların alansal dağılımı



Şekil 3.9 Urmie Gölü havzasındaki alt havzalar (Akar 2011)

Sulama için 2 milyar m^3 depolama kapasiteli 51 adet çeşitli büyüklükte rezervuar inşa edilmiştir ve özellikle su depolama kapasitesi yüksek olan 5 önemli nehir üzerinde 5 büyük baraj yapılmıştır. Son yirmi yılda, gölü besleyen su potansiyeli 5 milyar m^3 /yıl'dan 2.5 milyar m^3 /yıl'a düşmüştür (Sima ve Tajrishi 2015). Bu barajların toplam su toplama kapasitesi 2 milyar m^3 'ten fazladır (IWRMC 2019). Önemli barajların bazıları şunlardır:

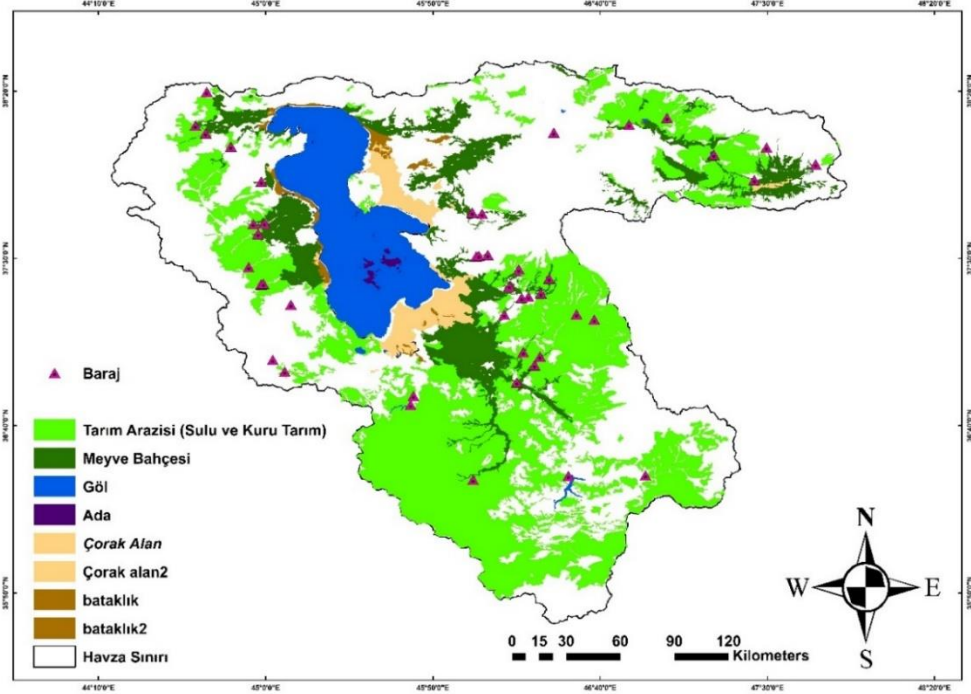
- 1) Shahid Kazemi Barajı Zerrinehrood Nehri üzerinde. Barajın aktif rezervuar kapasitesi: 480 MCM
- 2) Mahabad Barajı Mahabad Nehri üzerinde. Aktif rezervuar 480 MCM
- 3) Siminehrood Barajı Simineh Nehri üzerinde. Aktif rezervuar kapasitesi 312 MCM
- 4) Shahid Madani Barajı Acıçay üzerinde. Aktif rezervuar kapasitesi 316 MCM
- 5) Nazlı Barajı, Nazlı Çayı üzerinde. Aktif rezervuar kapasitesi 145 MCM
- 6) Şehir Çayı Barajı, Shahr Çayı nehri üzerinde. Aktif rezervuar kapasitesi 214 MCM (IWRMC 2019)

Sulanan araziler, havzanın % 10'unu ve meraların %56'sını kaplamaktadır. Sulanan alanlarda başlıca ürünler tahıl ve baklagiller (%81), sebzeler (%3) ve yem bitkileridir (%16) (Alizade Govarchin Ghale vd. 2019). Şekil 3.11'de havzadaki tarım arazileri ve barajların konumu belirtilmiştir.

Bölgedeki çiftliklerin %71'i 5 hektardan azdır (Hajimoradi 2021). Sulama suyunun büyük bir kısmını kanallar sağlamakta, ancak yasal ve yasadışı yeraltı suyu çekimleri ile de sulama suyu sağlanmaktadır. Havzanın nüfusu 6.4 milyon olup, %36'sı Tebriz ve Urmiye kentlerinde yaşamaktadır. Bu şehirler sırasıyla gölün 60 km doğusunda ve 15 km batısında yer almakta ve Doğu ve Batı Azerbaycan eyaletlerinin en büyük illeridir. Göl çevresinde yaşayanların %30'u tarımla uğraşmaktadır (Alizade Govarchin Ghale vd. 2019) ve 2014 Ulusal Nüfus Sayımı'na göre, sakinlerin ortalama geliri yılda 4700 ABD Doları'dır (Parsinejad vd. 2022).

Göl suyunun pH değeri 6-8 aralığında değişmektedir. Tuzluluğu yaklaşık 170 ila 185 g/L (Günther 1899, Karimi vd. 2016, Sima vd. 2021) ve baskın iyonlar ise Na ve Cl'dir.

Gölün tuzlu suyunda yaşayabilen tek canlı, çiftlik balıkları ve flamingolar için önemli bir besin kaynağı olan *Artemia salina*'dır (Iran-FCE 2002).



Şekil 3.10 Havzadaki tarım arazilerinin dağılımı ve barajların konumu

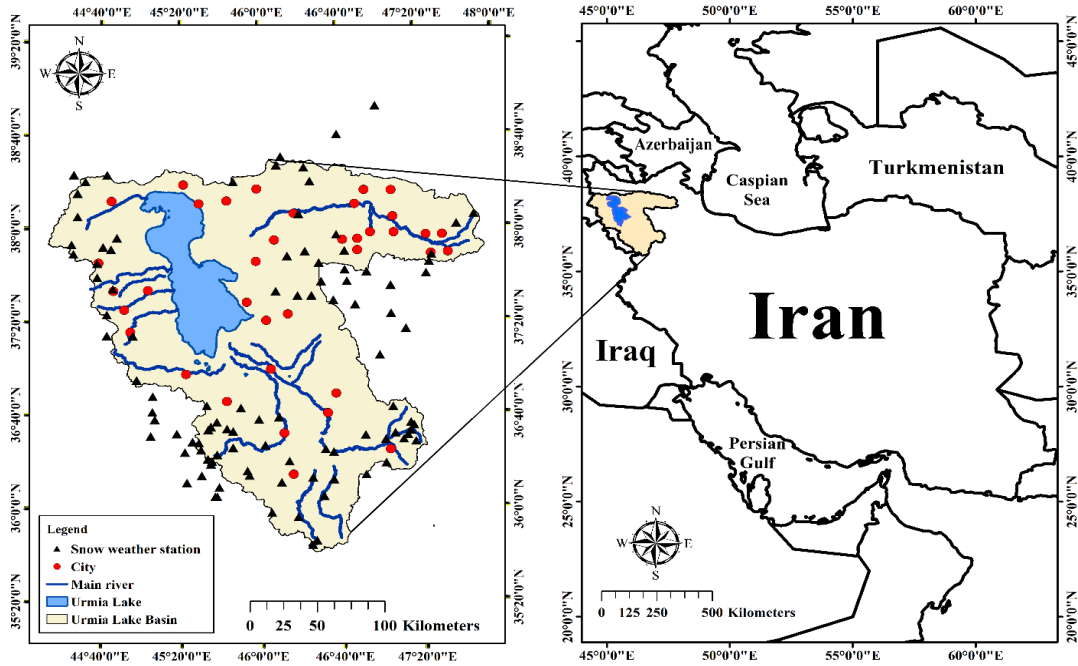
Havzada yeraltı suyu çekimi son derece fazladır. Urmie Gölü havzası, bol miktarda yeraltı suyu kaynaklarına sahiptir. Göl'ün çevresindeki yeraltı su kaynaklarının deşarj oranları ve hareket hızları farklılık göstermektedir. Gölün güney ve batı bölgelerindeki aküferler, yüksek boşalım değerlerine sahiptir. Bu durum, özellikle güneydeki akarsuların akımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Son yıllarda, bölgedeki nüfus artışı, tarımsal faaliyetlerin artması ve yağışların azalması Urmie Gölü'nün çevresindeki yeraltı su kaynaklarının azalmasına ve kirlenmesine neden olmaktadır. Urmie gölü havzasındaki bazı önemli alanlar ve yeraltı sularının tuzluluk (EC) değeri aşağıda getirilmiştir (IWRMC 2019):

- Salmas Ovası: Nehir yakınlarında EC değerleri yaklaşık 456 ds/m'dir. Ovanın kuzeydoğusunda (Çobanlı) civarında EC değeri 3168 ds/m'dir (Iran-FCE 2010).

- Urmiye Ovası: EC değeri 1200 ds/m civarındadır. Bölgede EC'nin artan bir eğilimi söz konusudur. Göl civarında ise aşırı buharlaşma nedeniyle, EC 5000 ds/m aşmıştır. Göl etrafında Maksimum EC 5983 ds/m olarak ölçülmüştür.
- Sulduz Ovası: Nehrin batı, kuzey ve güneyinde EC değeri 360 ds/m iken Gadar Nehri'nin aşağı kısımlarında 7193 ds/m'dir.
- Goşaçay Ovası: Bu oavadaki EC değeri Hacıabad Nehri ve Urmiye Göl'ü civarında 10280 ds/m'dir (Akar 2011).

Havzada su ihtiyacının yaklaşık yarısı, yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır (Iran-FCE 2002). Ovalar, genellikle yer altı su kaynaklarının en yaygın olduğu bölgelerdir. Havzada bulunan 2038 MCM yer altı suyu kaynağından 1959 MCM'ü tatlı su kaynağıdır ve bu kaynaklar, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin ihtiyacını karşılamak için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Iran-FCE 2010). Kullanımı yasaklanan Tebriz, Azerşehr (Tufargan), Sofiyan, Şebister, Tesuj ve Salmas aküferlerinde 58 MCM su, açılan kuyular vasıtasıyla kullanılmaktadır (Moser 2005).

Urmiye Gölü Havzasında toplam 81 kar ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Şekil 3.12, havzada bulunan kar ölçüm istasyonlarının konumunu göstermektedir.



Şekil 3.11 Çalışma alanında bulunan kar ölçüm istasyonları

Çizelge 3.1’de Urmiye Gölü havzasının alt havzalarından olan Zarrineh alt havzasındaki kar ölçüm istasyonlarının bilgileri verilmiştir. Veriler, İran Su Kaynakları Yönetimi Şirketi’nden elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 Zarrineh alt havzasındaki kar ölçüm istasyonlarının koordinatları ve yüksekliği

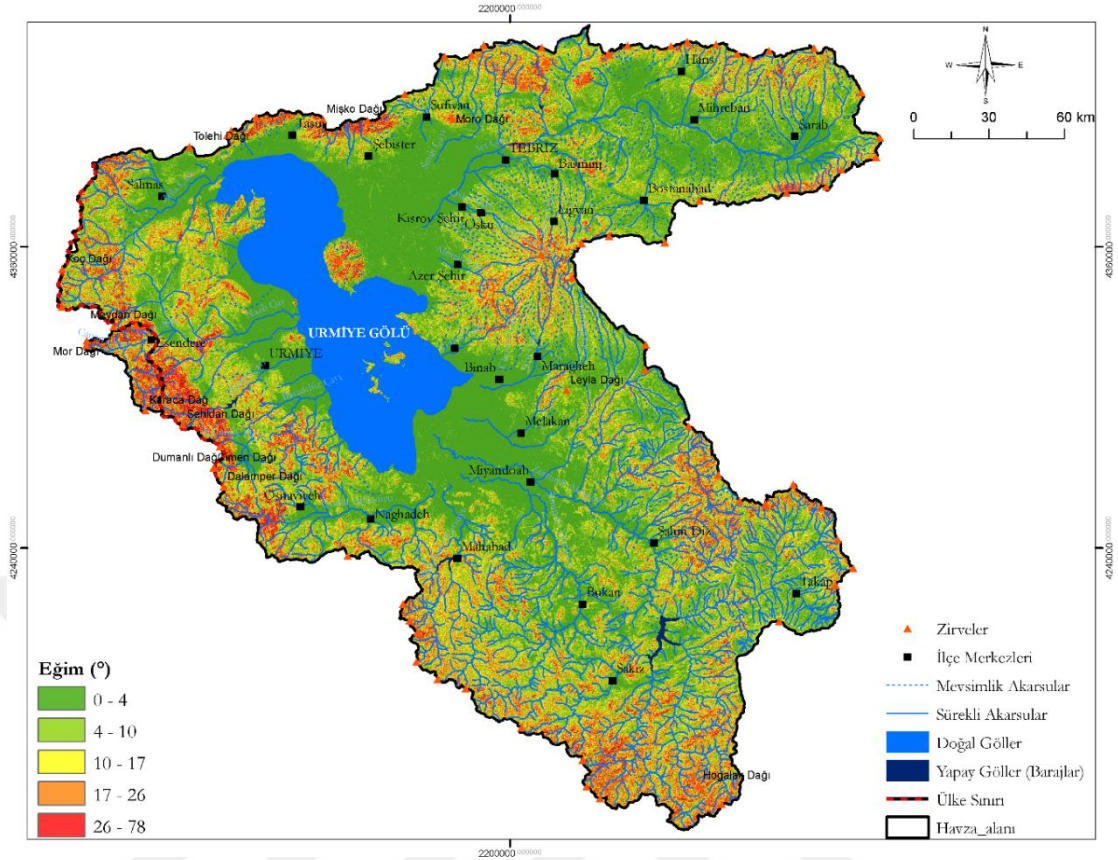
Kar ölçüm istasyonu	Enlem (derece-dakika- saniye)	Boylam (derece-dakika- saniye)	Yükseklik (m)
Gorbaba eli	36-14	46-52	2210
Heyder abad	36-19	47-02	2410
Mayın bulak	36-31	46-52	2320
Zere şoran	36-43	47-06	2030
Ak bulak	36-31	47-13	2200
Çahar tak	36-28	47-17	2500
Qamçıyan (Kaniken)	35-44	46-25	2050
Şeyh çoban	36-14	45-54	1800
Beyan dere	35-58	46-05	1950
Akça	35-46	46-27	1870
Serahi (Baneh- Merivan)	35-56	46-18	1900
Dere gible	36-05	46-31	1790
Sefa hane	36-25	46-32	1800
Ala sağıl	36-29	47-02	1750
Pol Anıyan	36-13	46-25-30	1450
Bokan barajı	36-25	46-32	1520
Gebgebeli	36-11	46-10	1550
Ahmet abad	36-20	46-14	1650
Gülzar oliya	36-12	46-36	1660
Baba Nazar	36-35-01	47-16-11	2170
Garavulkhanwe	36-36-12	47-14-38	2500
Serah Hempa	36-32-50	47-14-38	2120
Asad Kendi	36-29	47-10-55	1997
Kükürtçü	36-31-44	47-06-49	1936

Gölün ortalama ve maksimum derinliği sırasıyla yaklaşık 6 ve 16 m'dir (Günther 1899). Şubat 2021 itibariyle, gölün yüzey rakımı 1271.3 m'ye düşmüş ve tuzluluk 300 g/L'yi aşmış durumdadır. İran Su Kaynakları Yönetimi İdaresinin raporuna göre gölün tekrar ekolojik seviyeye ulaşması ve göl yüzey rakımı 1274.1 m yüksekliğe çıkarılması için 10.3 milyar m³ suyun ilave edilmesi gerekmektedir (Abbaspour ve Nazaridoust 2007).

Gölde toplam 102 ada bulunmaktadır. UNESCO tarafından koruma altına alınan tüm adaların içinde, 4 büyük ada üzerinde tatlı su kaynakları bulunmaktadır. Göl seviyesinin düşmesi sonucu, yeni adaların oluşması mümkündür. Göl ve çevresindeki sulak alanlar, bir zamanlar en az 92 kuş türünü ev sahipliği yapmaktaydı ve ayrıca Urmıye Ulusal Parkı'nın çevresindeki dağlık bölgelerde birçok türler yaşamaktaydı (Asem vd. 2016). Gölün göçmen kuşlar açısından önemi, onun Uluslararası Öneme Sahip ilk RAMSAR Sulak Alanlarından biri olarak belirlenmesine yol açmıştır (Chaharborj 2014).

Çalışma sahasında, 0-4° eğime sahip düz ve düze yakın alanlar %41'lik bir oranla ve 21393 km²'lik yüzölçümü ile en fazla alanı kaplayan kesimlerdir. Bu alanlarda yüksek infiltrasyon gerçekleşmektedir. %25'lik kesimi kapsayan 13325 km²'lik alan, 4-10° eğime sahip alanlar, hafif eğimli düz ve düze yakın alanları çevreleyen alanlardan oluşur. Bu kesimler havzanın batısında ve doğusunda yoğunlaşır ve en yüksek eğim değerleri ise Türkiye sınırındaki Meydan ve Mor Dağları civarında 78°'ye kadar ulaşmaktadır (Akar 2011). Şekil 3.13'te Havzanın eğim haritası verilmiştir.

Urmıye Gölü havzasında, yağışlar yüksek kesimlere daha fazla düşmektedir. En yoğun yağışlar ilkbahar ve kış aylarında meydana gelirken, en az yağışlar sonbahar aylarında görülür. Toplam yağışın %42'si ilkbaharda, %36'sı kış aylarında, %15'i yaz aylarında ve %7'si sonbaharda düşmektedir. Yüksek eğime sahip alanlar, yağmur sularının hızla akmasına neden olur ve bu durum akarsuların akım değerlerinin artmasına ve yüzeysel akışın artmasına yol açar (Akar 2011).



Şekil 3.12 Urmia Gölü Havza'sı eğim haritası (Akar 2011)

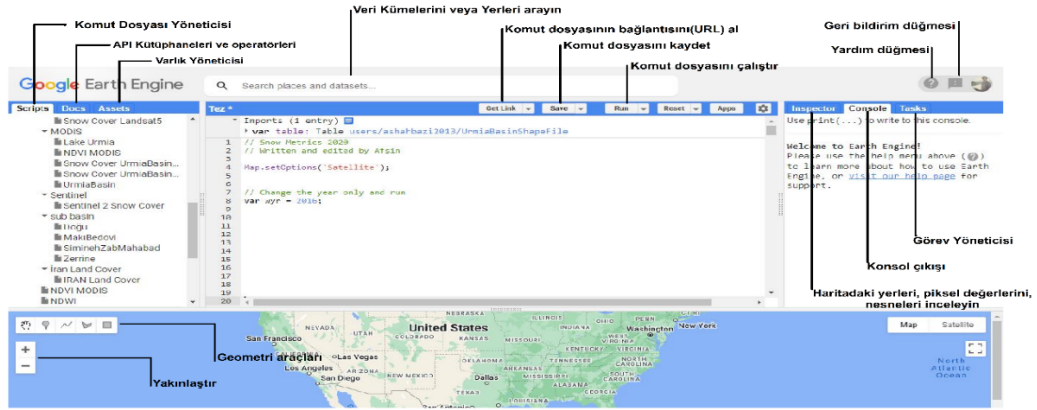
3.1.2 Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE), Google tarafından sunulan ve bulut tabanlı ücretsiz bir veri işlem platformudur. GEE, büyük ölçekte uzaktan algılama ve coğrafi verilerinin analizi ve değerlendirilmesi için kullanılmaktadır ve dünya genelindeki MODIS, Sentinel, Landsat ve ASTER gibi birçok uydu sensöründen elde edilen görüntüleri ve coğrafi verilerini toplayarak bu verileri hızlı ve kolay bir şekilde işlemek için bir dizi araç ve bileşen sağlar. Bu bileşenler arasında veri setleri, uygulama programlama arayüzleri (API-Application Programming Interface'lar), ölçeklenebilir bilgi işlem gücü ve kod düzenleyicileri bulunur (Gorelick vd. 2017).

Platform, uydu görüntülerinin depolanması ve işlenmesi için yüksek kapasiteli veri merkezlerini kullanır ve kullanıcıların erişebileceği 5 petabayttan fazla veri ve 1000'den fazla farklı veri tipi sağlamaktadır. Kullanıcılar, GEE'nin API'ler üzerinden platformda

bulunan verilere erişebilir, API'nin sunmuş olduğu operatörlerle bu verileri işleyebilir ve analizlerini gerçekleştirebilirler. GEE, uygulama program arayüzü (API) sayesinde JavaScript ve Python kodlama dilleri ile geliştirme ve petabayt ölçeğinde verilere ulaşma ve uygulama olanağı sağlar (Dong vd. 2016). Ölçeklenebilir bilgi işlem gücü sayesinde, artan iş yükü veya veri hacimleri gibi değişen ihtiyaçlara göre esnek bir şekilde genişleyebilme yeteneğine sahiptir ve sistemin, daha fazla veri veya kullanıcılarla çalışırken de aynı düzeyde performansı sürdürebilmesini sağlar. GEE bu sayede yüksek hacimli veri işleme ve analizlerini hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilir (Kumar ve Mutanga 2018). JavaScript API'si için bir web tabanlı kod düzenleme aracı olan Kod Düzenleyici, kod yazma sürecinde kullanıcılara bazı ipuçları sunarak yazım hatalarını tespit etmelerine ve düzeltmelerine yardımcı olur (Koskinen vd. 2019).

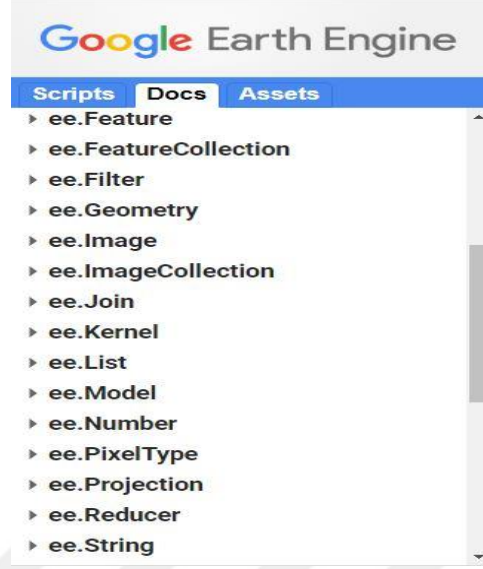
Şekil 3.14'te görüldüğü gibi, GEE arayüzü, çalışma dosyalarını barındıran, kod kütüphanelerini içeren, verilerin yönetildiği, kodların yazıldığı, sorgulama ve veri gönderme işlemlerinin gerçekleştirildiği bölümlerinden oluşmaktadır. GEE platformuna erişmek isteyen kullanıcılar, kaydolarak <https://earthengine.google.com> adresine giriş yapabilirler ve arşivdeki tüm verilere erişebilirler.



Şekil 3.13 GEE'nin web tabanlı uygulama programlama arayüzü ve bileşenleri

GEE, birçok farklı veri tipiyle çalışır, bu veri tipleri arasında görüntüler (*ee.Image*), görüntü koleksiyonları (*ee.ImageCollection*), özellik koleksiyonları (*ee.FeatureCollection*), sayılar (*ee.Number*), projeksiyon (*ee.projection*) ve geometriler

(*ee.Geometry*) yer alır (Şekil 3.15). GEE, bu veri tipleri üzerinde filtreleme, sıralama ve diğer işlemler yapabilen operatörler sunar.



Şekil 3.14 GEE'nin barındırdığı veri tipleri ve çalıştırmak için sunduğu araçlar

ee.FeatureCollection aracılığıyla birçok farklı kaynaktan vektör verilere (nokta, çizgi veya poligon gibi) ulaşılabilmektedir.

ee.Image, tek bir raster görüntüyü temsil eder. Bu görüntüler, coğrafi bilgi sistemlerinde (GIS) sıkça kullanılan, piksel tabanlı bir veri türüdür. Her bir piksel, bir yüzey noktasının radyometrik özelliklerini (örneğin, renk, sıcaklık, yüzey özellikleri vb.) temsil eder.

ee.ImageCollection ise, bir dizi *ee.Image* örneğini temsil eder ve bir veri koleksiyonudur. Bu koleksiyon, çeşitli kaynaklardan (örneğin uydu sensörleri) toplanan birden çok görüntüyü bir araya getirir. Bu görüntüleri, filtreleme ve sıralama gibi kriterlere göre seçmek için işlevsellik sağlar.

Bu çalışmada GEE platformunda yapılan işlemler JavaScript kodlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Uydu görüntüleri, re-analiz ve asimilasyon sistemleri tarafından sağlanan grid bazlı kar örtüsü ve kar suyu eşdeğeri verilerinin zaman serisi analizi GEE'de yapılmıştır. Ayrıca, akım gözlem istasyonları ve meteorolojik istasyonlar

tarafından sağlanan nokta bazlı akım ve meteorolojik ölçüm verileri de karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır.

GEE platformunda kar örtüsü için MODIS kar ürünü (MOD10A1.006 Snow Cover Daily Global 500m) kullanılmıştır. Kar suyu eşdeğeri verileri için, GEE platformunda Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından geliştirilen ERA5-LAND ve Küresel Yer yüzeyi Veri Asimilasyon Sisteminin geliştirdiği GLDAS-2 ve GLDAS2-1 verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler, GEE platformunda filtreleme ve maskeleme işlemleri yapıldıktan sonra zaman serisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Veriler, CSV formatında indirilerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır ve R programlama dili kullanılarak R Studio ortamında trend analizleri ve istatistiksel hesaplamalar yapılarak grafikler ggplot2 ile oluşturulmuştur. Detaylı bilgiler ilgili bölümlerde verilmiştir.

GEE platformunda kullandığımız görüntü koleksiyonlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

```
ee.ImageCollection("MODIS/006/MOD10A1"),  
ee.ImageCollection("NASA/GLDAS/V20/NOAH/G025/T3H"),  
ee.ImageCollection("NASA/GLDAS/V021/NOAH/G025/T3H"),  
ee.ImageCollection("ECMWF/ERA5_LAND/MONTHLY_AGGR").
```

Bu verilerin GEE kataloğundaki bilgileri Çizelge 3.2’de verilmiştir. GEE platformunda, işlem süreci tamamlandıktan sonra kod dosyası çalıştırılır ve sonuçlar kısa bir sürede konsol kısmında kullanıma hazır olur. Her işlem için farklı bir kod sayfası oluşturulur ve bu kod dosyaları üzerinden işlemler gerçekleştirilir. Elde edilen sonuçlar, isteğe bağlı olarak ‘tiff’ formatında Google Drive’a kaydedilebilir ve daha sonra indirilerek farklı yazılımlarda kullanılabilir.

Çizelge 3.2 GEE kataloğundan kullandığımız ürünler

GEE kataloğundaki ismi	Earth Engine Veri Koleksiyonu	Veri Aralığı	Veri Sağlayıcı	Alıntılar
GLDAS-2.0 (Yeniden İşlenmiş)	ee.ImageCollection("NASA/GLDAS/V20/NOAH/G025/T3H")	1948-01-01T03:00:00Z–2014-12-31T21:00:00	NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi- NASA GES DISC	Rodell ve Houser 2004
GLDAS-2.1	ee.ImageCollection("NASA/GLDAS/V021/NOAH/G025/T3H")	2000-01-01T03:00:00Z–2023-03-14T21:00:00	NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi- NASA GES DISC	Rodell ve Houser 2004
ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis	ee.ImageCollection("ECMWF/ERA5_LAND/MONTHLY_AGGR")	1950-01-01T00:00:00Z–2022-12-01T00:00:00	Aylık Veriler: Google ve Copernicus İklim Veri Deposu	Hersbach 2019, Muñoz Sabater 2019
MOD10A1.006 Terra Snow Cover Daily Global 500m	ee.ImageCollection("MODIS/006/MOD10A1")	2000-02-24T00:00:00Z–2023-02-17T00:00:00	CIRES'nin NASA NSIDC DAAC Merkezi	Riggs vd. 2022, Riggs and Hall 2020

3.1.3 Yersel ölçüm verileri

Akarsu akım değerleri, göl seviyesi ve su depolama alanlarıyla (barajlar, göletler) ilgili gereken veriler ve gölü besleyen nehirlerin debisi IWRM'den temin edilmiştir.

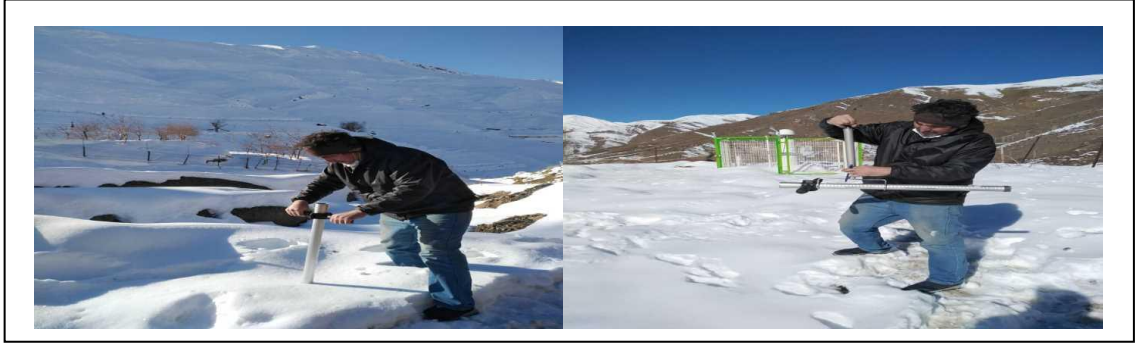
Havzada bulunan iklim istasyonlarından 1985-2022 yıllarına ait iklim verileri (yağmur, buharlaşma, sıcaklık) İran Meteoroloji Kurumu'ndan (IRIMO) temin edilmiştir. IRIMO'ya bağlı kar gözlem istasyonlarında, 2007-2013 yılları arasında ölçülen aylık ortalama kar verileri, yersel ölçüm olarak değerlendirilmiştir.

Tarım sektöründe kullanılan yıllık toplam su miktarı 1985'den 2019'a kadar İran Tarım Bakanlığından elde edilmiştir.

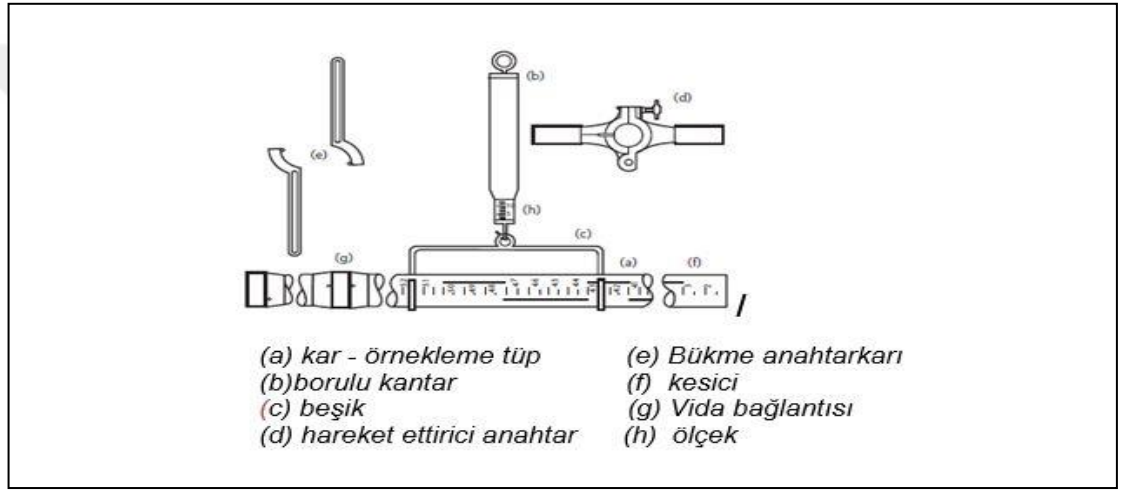
3.1.3.1 Kar ölçüm verileri

IWRM tarafından 1940'ların ortalarından bu yana, çalışma alanında kar tüpleri kullanılarak kar verisi toplanmaktadır (Şekil 3.16). Kar tüplerinin ekipmanları Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Bu yöntemde, bir kar sezonu boyunca her kar yağışı sonrasında, gerekli sayıda ve belirli mesafe aralıklarıyla kar ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçümler, genellikle havzanın genel kar potansiyeli hakkında fikir vermektedir, ancak kar modellemesi için yeterli veri sürekliliğini sağlamamaktadır. Bu nedenle, modelleme ve zaman serisi analizi için uygun verilerin elde edilebilmesi için, kar verilerinin sürekli ve uzun süreli toplanması gerekmektedir.

Havzada toplam 81 kar ölçüm istasyonu bulunmaktadır ve IWRM tarafından 2007-2013 yıllarına ait ortalama aylık kar yoğunluğu, kar derinliği ve kar su eşdeğeri verileri tüm havza ve her istasyon için ayrı ayrı elde edilmiştir.



Şekil 3.15 Havzadaki kar ölçüm yöntemi



Şekil 3.16 Havzada kullanılan kar tüplerinin ekipmanları

3.1.3.2 Hidrometrik veriler

Akım verileri, hidrolojik modellemelerin doğrulanmasında kritik bir rol oynayan temel verilerdir. Havzadaki değişken koşullar altındaki akış miktarını anlamak için uzun süreli akım verilerinin mevcut olması önemlidir. Bununla birlikte, gerçek zamanlı tahmin ve işletme için akım verilerinin anlık olarak takip edilmesi de son derece önemlidir.

Çalışma alanında, her nehir üzerinde uzunluğuna bağlı olarak membadan mansaba doğru belirli mesafelerle gerekli sayıda akım gözlem istasyonunu bulunmaktadır (Şekil 3.18). Bu çalışmada, membadan mansaba doğru en son istasyonlardan (göle en yakın istasyon) elde edilmiş veriler kullanılmıştır. Bu değerler aynı zamanda nehirlerin göle

boşalım değerleridir. Bu veriler m³ cinsinden 1985'ten 2020 yılına kadar yıllık veriler olarak İran Su Kaynakları Yönetimi'nden elde edilmiştir.



Şekil 3.17 Akım ölçüm istasyonları

3.1.4 Uzaktan algılama verileri

3.1.4.1 AMSR-E KSE verileri

1980'lerden bugüne kadar yaklaşık 40 yıldır pasif mikrodalga parlaklık sıcaklık verileri, kar parametreleri tahmininde kullanılmaktadır. ABD Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi (NSIDC), 1979'dan beri günlük pasif mikrodalga verilerini arşivlemektedir. Bu veriler genellikle Mikrodalga Özel Sensörü/Görüntüleyici (Special Sensor Microwave/Image-SSM/I), Çok Frekanslı Mikrodalga Tarama Radyometresi (Scanning Multichannel Microwave Radiometer-SMMR) ve Gelişmiş Mikrodalga Tarama Radyometresi (Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System- AMSR-E) sensörleri ile toplanmaktadır. Çizelge 3.3, şu anda kar su eşdeğeri tahmini için mevcut olan pasif mikrodalga sensörlerini ve özelliklerini listelemiştir. Bu sensörlerin kullanılması, kar özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesini ve kar örtüsü dinamiklerinin anlaşılmasını sağlar (Lobl 2001).

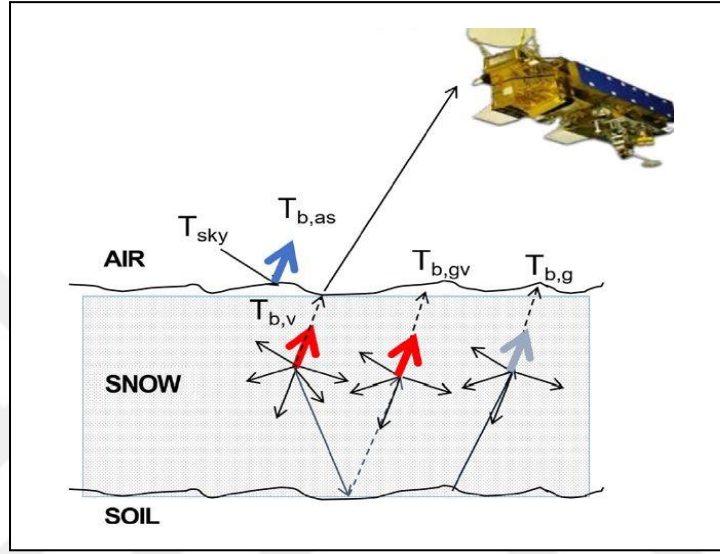
AMSR-E, Aqua uydusundaki altı sensörden biri olarak hizmet veren on iki kanallı, altı frekanslı, çift polarize mikrodalga radyometre sensörüdür. AMSR-E, Japon Uzay Ajansı tarafından tasarlanmış ve NASA, Yer Gözlem Sisteminin (EOS) geliştirdiği Aqua uydusunda yerleştirilmiştir. AMSR-E sensörünü üzerinde barındıran Aqua, güneş eşzamanlı kutuplara yakın bir dairesel yörüngesi ile her gün UTC 01:30 ve 13:30 saatlerinde Ekvatoru geçecek biçimde tasarlanmıştır (Tedesco ve Jeyaratnam, 2016) ve dünya atmosferinden, okyanuslardan ve kara yüzeyinden yayılan mikrodalga sinyallerini ölçerek su ve enerji döngülerinin farklı bileşenlerinin analiz edilmesine olanak sağlar. Ölçümler arasında, kar su eşdeğeri, toprak nemi, yüzey sıcaklığı gibi değişkenler yer almaktadır.

AMSR-E, önceki mikrodalga radyometrelerine (SMMR ve SSM/I) göre daha gelişmiş bir sensördür. Bu sensör, Çok Frekanslı Mikrodalga Tarama Radyometresi (SMMR) ve Mikrodalga Özel Sensörü/Görüntüleyici (SSM/I)'nin iki katı mekansal çözünürlüğe sahiptir ve daha ayrıntılı veri toplayabilmektedir. Ayrıca, SMMR ve SSM/I'nin ayrı ayrı sahip olduğu tüm kanalları tek bir AMSR-E sensöründe birleştirir, bu da verilerin daha kapsamlı ve tutarlı olmasını sağlamıştır (Liang and Wang 2020). Çizelge 3.3'te AMSR-E'nin çalışma özellikleri önceki pasif mikrodalga sensörlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.2 Kar su eşdeğeri tahmini için mevcut olan pasif mikrodalga sensörlerinin özellikleri (Lobl 2001)

Parametre	SMMR (nimbus-7)	SSM/I (DMSP-F08,F10,F11,F13)	AMSR-E (Aqua)
Zaman aralığı	1978-1987	1987 – devam	2002-2011
Frekans (GHz)	6.6, 10.7, 18, 21, 37	19.3, 22.3, 36.5, 85.5	6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, 89.0
Örnekleme boyutları (km)	148 * 95 (6.6 GHz) 27 * 18 (37 GHz)	37 * 28 (36.5 GHz) 15 * 13 (85.5 GHz)	74 * 43 (6.9 GHz) 14 * 8 (36.5 GHz) 6 * 4 (89 GHz)

Bir uyduda pasif mikrodalga radyometre ile gözlemlenen parlaklık sıcaklıklarının ana bileşenleri ve karla kaplı arazinin mikrodalga saçılması ve emisyonu Şekil 3.19’da gösterilmiş olup, renkli oklarla gösterilen önemli radyasyon kaynakları açıklanmıştır. Bir uyduda pasif mikrodalga radyometre ile gözlemlenen parlaklık sıcaklıklarının ana bileşenleri, ışınım transfer denkleminde dört terimle ifade edilir.



Şekil 3.18 Pasif mikrodalga radyasyon transferi (Swift ve Cavalieri 1985)

T_b , pasif mikrodalga radyometrelerde alıcı antenler tarafından ölçülen parlak sıcaklık değeridir. Bu sıcaklık, sensörün gördüğü nesnenin yüzeyindeki mikrodalga enerjisinin yayan nesne tarafından soğurulması, yansıtılması ve saçılması sonucu oluşan toplam radyasyonun bir ölçüsüdür. T_b değeri, uzaktan algılama yöntemi ile yeryüzündeki su, buz, kar, toprak vb. nesnelerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır (Liang ve Wang 2020).

$T_{b,as}$ (atmosphere) ve $T_{b,gv}$ (ground-surface vegetation) ise atmosfer ve yer yüzeyindeki bitki örtüsü tarafından saçılan mikrodalga radyasyonunun ölçülen parlaklık sıcaklıklarıdır. $T_{b,g}$, "ground brightness temperature" (yer parlaklık sıcaklığı), bir pasif mikrodalga sensör tarafından yeryüzünden alınan mikrodalga radyasyonunun sıcaklığıdır. $T_{b,v}$, pasif mikrodalga radyometrelerinde ölçülen dikey polarizasyonlu mikrodalga parlak sıcaklığıdır. Bu sıcaklık, ölçüm yapılan noktadaki yüzeye dik yönde

polarize edilmiş mikrodalga ışınımının yüzey ve atmosfer tarafından emilmesi sonucunda yeryüzünden tekrar yansıyan ışınımın ölçülmesiyle hesaplanır (Liang ve Wang 2020).

Karla kaplı arazinin mikrodalga saçılması ve emisyonu genellikle RTE (Retrieval of Environmental Variables from Microwave Radiance Measurements) kullanılarak modellenir. RTE model, AMSR-E sensörü tarafından toplanan mikrodalga yansıma ölçümlerinden kar verilerini elde etmek için kullanılan bir modeldir ve kısmi diferansiyel/integral bir denklem olduğundan, çözümü için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu model, mikrodalga yansıma ölçümlerini algoritmalar ve istatistiksel yöntemler kullanarak kar derinliği, kar yoğunluğu ve kar su eşdeğerini tahmin etmek için kullanır. Pasif uzaktan algılama yönteminde, radyometreler sadece kar ve toprak ortamından yayılan mikrodalga radyasyonunu alırlar (Zhang and Cheng 2020).

Kar örtüsünden gelen mikrodalga radyasyonu, karın kendisinden ve altındaki yüzeylerden gelen radyasyonu içerir (Chang vd. 1987). Düşük frekanslı emisyonlar özellikle karın altındaki toprağın özelliklerinden etkilenir. Yüksek frekanslı emisyonlar ise, kar su eşdeğerini ve kar tanesi boyutunu etkileyen hacim dağılımından kaynaklanır (Hofer ve Mätzler 1980). Hacim dağılımı etkisi, yüksek frekanslı sinyallerde düşük frekanslı sinyallerden daha belirgindir. Bu nedenle, kuru karın parlaklığı artan frekansla azalır (Ulaby 1986). Bu bilgiye dayanarak, yüksek ve düşük frekanslı parlaklık sıcaklıkları arasındaki farkı kullanarak kar derinliği ve kar su eşdeğeri elde edilir (Lobl 2012).

Chang vd. (1987) algoritması (NASA algoritması) ilk KSE algoritmalarından biridir ve günümüze kadar kullanılmaktadır. Chang vd. (1987, 1982), homojen bir kar tabakası için RTE modeline dayalı olarak kar parlaklık sıcaklığını hesaplamışlar. Bu algoritmada kar yoğunluğu 300 kg/m^3 ve kar taneleri boyutu 0.3 mm olarak kabul edilmiştir. Bu simülasyon sonuçları, Eşitlik 1'de yerleştirilerek pasif mikrodalga sensörleri için bir KSE algoritması oluşturulmuştur.

$$SWE = 4.8 \times (T_{b,18H} - T_{b,37H}) \text{ (mm)} \quad (1)$$

Burada, $T_{b,18H}$ ve $T_{b,37H}$ sırasıyla 18 ve 37 GHz parlaklık sıcaklıklarıdır.

Foster vd. (1997), ormanlık alanların kar su eşdeğerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesini zorlaştırdığını keşfettiler. Bu nedenle, ormanlık alanlarının bulunduğu bölgelerde, ormanlık alanların varlığı dikkate alınmadan oluşturulan algoritmaların, kar su eşdeğeri tahminini yanıltabileceğini ispat ettiler. Foster ve ekibi, ormanlık alanların etkisini (f) oranı ile hesaba katmayı ve bu bilgiyi Chang algoritmasının (1987) revize edilmiş bir versiyonu olan NASA 96 algoritmasını oluşturmak için kullanmayı tercih ettiler. Foster vd. (1997) geliştirdiği algoritma, NASA 96 algoritması ile bilinmektedir.

18 ve 37 GHz'de orman saçılımları daha yakın olduğundan, parlaklık sıcaklık farkı neredeyse tamamen ormansız bölgelerden geleni kapsamaktadır ve (1-f) fraksiyonu ile gösterilir. Revize edilmiş algoritma aşağıdaki gibidir:

$$SWE = \frac{4.8 \times (T_{b,18H} - T_{b,37H})}{(1-f)} \quad (mm) \quad (2)$$

Chang Algoritmasında, sabit bir tane boyutu (3 mm) kullanıldığı için; farklı kar tanesi boyutlarında yanlış sonuçlara sebep olabilir. Bu yüzden farklı bölgeler için kar özelliklerine dayanarak kar tanesi boyutunu değiştirerek algoritmayı revize etmek mümkündür.

Orta Asya'da, kışın hava sıcaklığı düşük olduğu için karın tane boyutu büyüktür. Bu nedenle, algoritma, bu bölge için 0.4 mm tane boyutunu kullanmaktadır ve 4.8 katsayısı bu bölge için yeniden düzenlenmiştir:

$$SWE = \frac{2.3 \times (T_{b,18H} - T_{b,37H})}{(1-f)} \quad (mm) \quad (3)$$

Foster vd. (1997), geliştirdikleri algoritma ile ormanlık alanlarda kar derinliği ve kar su eşdeğeri tahmininde daha doğru sonuçlar elde ettiklerini göstermişlerdir. Bu algoritmanın kullanılması, Kuzey Amerika'da kar su eşdeğeri tahmini hatalarını %50'den %15'e düşürmüştür. Ayrıca, bahar aylarında Avrupa'da kar su eşdeğeri tahmini doğruluğunu da önemli ölçüde artırmıştır (Foster vd. 1997).

AMSR-E, 19 Haziran 2002'den 3 Ekim 2011'e kadar küresel ölçekte günlük kar-su eşdeğeri veri seti sağlamıştır (https://nsidc.org/data/ae_dysno). Ancak, 2011 yılında sensörün soğutma sistemi arızalandığı için veri toplama kapasitesi azalmıştır. Bu nedenle, AMSR-E'nin görevi 4 Ekim 2011'de sona erdirilmiştir (Lobl 2012). AMSR-E'nin yerine, daha gelişmiş bir mikrodalga tarama radyometresi olan AMSR-2, Japon Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından GCOM-W1 uydusuna yerleştirilmiştir ve hala çalışmaktadır. AMSR2, 2 Temmuz 2012'den günümüze kadar küresel ölçekte kar suyu eşdeğeri veri seti sağlamaktadır (https://nsidc.org/data/AU_DySno/versions/1). AMSR-E KSE ve AMSR-2 KSE veri kümelerinin mekânsal çözünürlüğü 25 km x 25 km, zamansal çözünürlüğü ise günlük, 5 günlük, haftalık ve aylıktır. Veri formatları sırasıyla HDF-EOS2 ve HDF-EOS5'tir (Lobl 2012).

3.1.4.2 Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi - MODIS

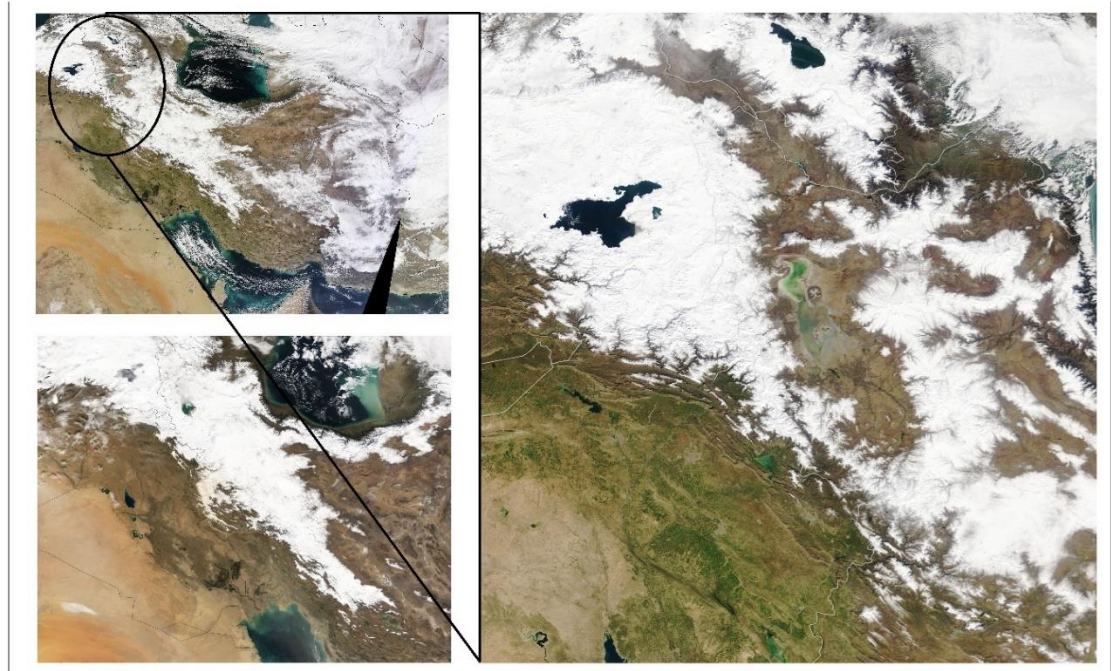
NASA tarafından geliştirilmiş çift taraflı tarama aynalı (çapraz izlemeli) radyometrik bir sensör olan Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS), ilk kez 18 Aralık 1999 tarihinde Terra uydusuna entegre edilerek görev yapmaya başlamıştır. Daha sonra Aqua uydusu da 4 Mayıs 2002'de bu cihazla donatılarak uzayda yerini almıştır (Kafatos ve Qu, 2006).

Terra uydusu, 4 Şubat 2000 tarihinde veri toplamaya başlayarak güneş eşzamanlı kutuplara yakın bir dairesel yörüngesi ile, kuzeyden güneye doğru sabah saatlerinde, yaklaşık 10:30'da ekvatoru geçecek biçimde tasarlanmıştır. Aqua uydusu ise 24 Haziran 2002'de faaliyete başlamıştır ve güneşe senkronize kutuplara yakın bir dairesel yörüngesi ile yaklaşık 13:30 civarında güneyden kuzeye doğru ekvatoru geçecek şekilde ayarlanmıştır (Wang vd. 2009, Tuttu 2020). Bu sensörlerin her biri, yaklaşık 750 km yükseklikten, 2330 km'lik iz tarama genişliği ve $\pm 55^\circ$ 'lik bir izleme açısıyla, her taramada yeryüzündeki 10 km'lik bir alanı taramaktalar ve bu sayede dünya yüzeyinin tamamını bir günde gözlemleyebilmektedirler. MODIS sensörü, 0.405-14.385 μm dalga boyu aralığında 36 farklı spektral bantla 250 m, 500 m ve 1000 m olmak üzere üç farklı mekânsal çözünürlükte veri toplamaktadır (Salomonson vd. 1989, Tuttu 2020). MODIS sensörünün teknik özellikleri özet olarak Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 MODIS sensörünün özellikleri (Kafatos ve Qu 2006, Tuttu 2020)

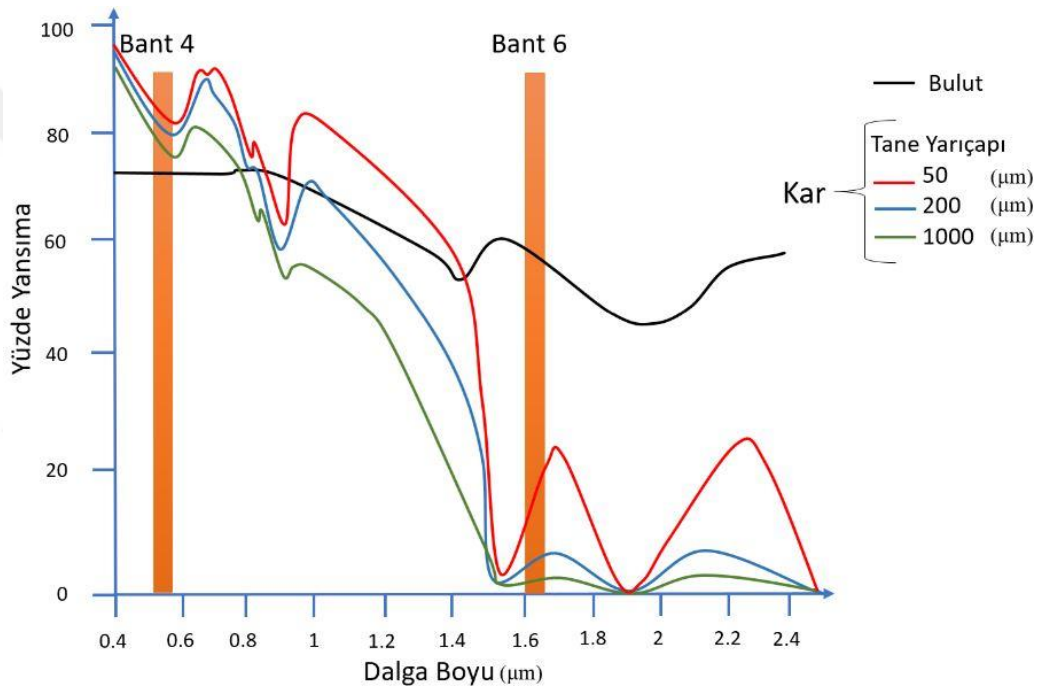
Özellikleri	Veri
Yörüngesi	750 Km, 10:30 ve 13:30 Güneş eş zamanlı, kutuplara yakın, dairesel
Swath Boyutları	10 km (nadir boyunca), 2330 km (enine iz boyunca)
Teleskop	17.78 cm çapında eksen dışı, paralel, orta saha durdurmalı
Boyut	1.0 × 1.6 × 1.0 m
Ağırlık	228.7 kg
Güç	162,5 W (tek yörünge ortalaması)
Veri Hızı	10.6 Mbps (gündüz en yüksek), 6.1 Mb / sn (yörünge ortalaması)
Mekansal Çözünürlük	1000 m (8-36 band), 500 m (3-7 band), 250 m (1-2 band), tasarım ömrü: 6 yıl

Küresel ölçekte birçok ürün, MODIS verileri kullanılarak elde edilmektedir. Bu ürünler arasında kar örtüsü de bulunmaktadır ve 13 Eylül 2000'den beri, kullanıma sunulmuştur. MODIS sensörünün geniş tarama özelliği ile birlikte yüksek mekânsal çözünürlüğe (500 m) sahip olması sayesinde, kar örtüsü ve bulut, kolaylıkla birbirinden ayırt edilebilmektedir (Baum ve Platnick 2006) Şekil 3.20'de Farklı tarihlerde MODIS ile görüntülenmiş İran ve Urmiye Gölü havzası görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Farklı tarihlerde MODIS ile görüntülenmiş İran ve Urmiye Gölü havzası görüntüleri

Kar yüzeyi, görünür dalga boylarında (VIS) yüksek yansıtma özelliğine ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) dalga boylarında çok düşük yansıtma özelliğine sahiptir. Bu özellik, kar ve çoğu bulut türünü ayırt etmek için kullanılmaktadır ve bu farklı yansıtma özelliklerinden dolayı NDSI denklemi kullanılarak kar yüzeyi, çoğu bulutlardan kolayca ayırt edilebilir. NDSI, karın görünür dalga boylarında yüksek yansıtma değerleri kullanılarak geliştirilmiş bir indekstir (Hall vd. 2002). Optik ve yakın kızılötesi dalga boylarında görüntü elde eden sensörler, karla kaplı alanları diğer alanlardan ayırmak için kullanılır. Bunun nedeni, karın görünür dalga boylarında (0.5-0.7 μm) diğer doğal arazi türlerine göre çok daha yüksek yansıtma kapasitesine sahip olmasıdır (Şekil 3.21) (Warren 1982).



Şekil 3.20 Karın görünür dalga boylarında (0.5-0.7 μm) yansıtımı

Görünür ve kısa dalga kızılötesi bantlarına sahip olan tüm sensörler için aşağıdaki NDSI eşitliği geçerlidir (Riggs vd 2015).

$$NDSI = \frac{(VIS - SWIR)}{(VIS + SWIR)} \quad (4)$$

NASA EOS, Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) kullanarak küresel ölçekte dijital karla kaplı haritalar sağlamaktadır. Bu haritalar, NDSI algoritması kullanılarak, kar / karlı değil olarak iki sınıfta oluşturulur ve böylece karla kaplı alanları sayısal olarak hesaplanır.

MODIS için NDSI, bant 4 (0.545-0.565 µm) ve bant 6 (1.628-1.652 µm) kullanılarak eşitlik (6)'daki algoritmaya göre hesaplanır: MODIS/Aqua'da band 6 sorunu nedeniyle bant 7, band 6 yerine kullanılmaktadır (Riggs vd. 2022, 2015).

$$NDSI_{MODIS} = \frac{green(MODIS\ bant4) - SWIR(MODIS\ bant6)}{green(MODIS\ bant4) + SWIR(MODIS\ bant6)} \quad (5)$$

Eğer bir pikselin NDSI değeri 0.4'ten büyükse ve bant 2 (0.841-0.876 µm) yansımaları %11'den büyükse, kar olarak tanımlanmaktadır. Bazı durumlarda, karanlık alanların kar olarak tanımlanmasını önlemek için ek bir kriter kullanılır. Eğer pikselin bant 4 yansımaları %10'dan az ise, diğer kriterlere bakmaksızın kar olarak tanımlanmaz (Hall vd. 2002).

Ormanlık arazinin NDSI değeri genellikle 0.4'ten düşüktür ve bu nedenle "Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)" NDSI ile birlikte kullanılır (Hall vd. 2002b, 1998). NDVI, bitki örtüsü için kullanılan benzer bir indekstir ve yıl boyunca küresel bitki örtüsü koşullarını takip etmek için etkili bir algoritma olduğu kanıtlanmıştır. Bu indeks, yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı (Red-R) bantları kullanarak hesaplanır (Eşitlik (7)). Yapılan araştırmalar, NDVI'nın bitki örtüsü değişimlerini tespit etmekte güçlü bir indeks olduğunu göstermektedir (Tucker 1979).

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (6)$$

MODIS için, Eşitlik (8)'de verildiği gibi bant 1 (0.620-0.670 µm) ve bant 2 (0.841-0.876 µm) kullanılarak NDVI hesaplanır (Hall vd. 2002b 1998):

$$NDVI_{MODIS} = \frac{NIR(MODIS\ bant2) - Red(MODIS\ bant1)}{NIR(MODIS\ bant2) + Red(MODIS\ bant1)} \quad (7)$$

MODIS kar ürünlerinin algoritmasında girdi olarak kullanılan bantlar Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 MODIS kar ürünlerinin üretilmesinde kullanılan bantlar (Riggs vd. 2015, Tuttu)

Bant numarası	Dalga boyları	Uydu
1	0.620 – 0.670	Terra-Aqua
2	0.841 – 0.876	Terra-Aqua
3	0.459 – 0.479	Terra-Aqua
4	0.545 – 0.565	Terra-Aqua
5	1.230 – 1.250	Terra-Aqua
6	1.628 – 1.652	Terra
7	2.105 – 2.155	Aqua
31	10.780 – 11.280	Terra-Aqua
32	11.770 – 12.270	Terra-Aqua

3.1.4.2.1 MODIS kar ürünleri

MODIS kar ürünü, NDSI ve diğer kalite kontrol testleri kullanılarak yapılan bir kar haritalama algoritmasına dayanmaktadır. Veri paketi, 500 m mekânsal çözünürlük ve 3 farklı zamansal çözünürlükte (günlük, 8 günlük ve aylık) sunulmaktadır (Tuttu 2020).

MODIS kar örtüsü algoritmaları ve kar ürünleri, (C6- Collection 6) olarak adlandırılan yeni sürümde, C5 ile karşılaştırıldığında (Riggs vd. 2006), Seviye 2 kar algılama algoritmasında önemli değişiklikler yapılarak revize edilmiştir ve veri içeriği artırılmıştır. C5 sürümünde kullanılan EKKA (Etkili Karla Kaplı Alan) algoritması, C6'da artık kullanılmamaktadır ve C6 sürümü ile birlikte EKKA hesaplanmasına son verilmiştir. Bunun yerine, NDSI kullanılmaktadır. NDSI, EKKA algoritmasıyla karşılaştırıldığında, kardaki her piksel ile ilgili olduğu için kar örtüsü tespitinde daha doğru sonuçlar verir (Riggs vd. 2015, Tuttu ve Kuter 2020).

Ayrıca, C5'teki kar haritalama hatalarını düşürmek amacıyla veri ekranları revize edilerek yeni ekranlar eklenmiştir. C5'de, yüzey sıcaklığı eşiği aşırsa (yüzey çok

ısınmışsa), kar örtüsü olarak algılanan bir piksel "kar yok" olarak işaretlenmekteydi. Bu da yüksek rakımlardaki kar örtüsünün, yani 1300 m'nin üzerindeki karların "kar yok" olarak işaretlenmesine neden olmaktadır. Bu yüzden C6'da yüzey sıcaklığı eşiği artık yüzey yüksekliği düşünülerek uygulanmıştır ve yüksek rakımlarda, yüzey sıcaklığı eşiği aşılsa bile kar örtüsü olarak algılanmaya devam etmektedir ve "sıcak kar" olarak işaretlenir. Ayrıca, kar örtüsü algılama hataları için yeni ekranlar da eklenmiştir ve C5'de meydana gelen özellikle dağlardaki yüksek rakımlarda "şüpheli" olarak işaretlenen piksel sorununu ortadan kaldırmıştır (Riggs vd. 2015).

C5 kar örtüsü ürünlerinin işlenmesi, 2016'da sonlandırılmıştır. Bu sürümdeki tüm ürünlerde EKKa yöntemi kullanılırken, 500 metre mekânsal çözünürlükteki ürünlerde kar albedosu sağlanmıştır. 500 metre çözünürlükteki ürünlerin doğruluğu, arazi örtüsü ve kar örtüsünün durumuna bağlı olarak yaklaşık %93'tür (Riggs vd. 2015).

MODIS kar ürünleri, 500 m nominal piksel mekânsal çözünürlüğe sahip ve beş dakikalık MODIS taramalarından oluşmaktadır. Bu ürünler beş dakikalık MODIS taramalarına bir dizi düzenleme işlemleri uygulanarak üretilir. MODIS kar verisi üretilmesi için L1B, L2 ve L3 olmak üzere üç seviyede işlem uygulanır. L3 kar ürünü, yerkürenin belirli bir bölgesine (grid) ait verileri içeren, mekansal ve zamansal olarak işlem görmüş jeofiziksel bir üründür ve küresel ızgaranın "grid"leri olarak ızgaralı harita projeksiyon formatında sunulmaktadır. Bu ürünler, sinüsoidal ve coğrafi projeksiyon olmak üzere iki harita projeksiyon şeklinde sunulmaktadır (Çizelge 3.6) (Riggs vd. 2022, Tuttu ve Kuter 2020).

Çizelge 3.5 MODIS kar ürünleri. Terra (MOD) ve Aqua (MYD) ürünleri, M*D ile gösterilmiştir (Riggs vd. 2015, Tuttu ve Kuter 2020)

Veri Tipi	Ürün Seviyesi	Görüntü Boyutu	Mekansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Projeksiyon
M*D10_L2	L2	1354 × 2030 km	500 m	5 dakika Swath	Yok. (Enlem, boylam ref.)
M*D10GA	L2G	1200 × 1200 km	500 m	Günlük	Sinüzoidal
M*D10A1	L3	1200 × 1200 km	500 m	Günlük	Sinüzoidal
MOD10A1S	L3	1200 × 1200 km	500 m	8 Günlük	Sinüzoidal
M*D10A1F	L3	1200 × 1200 km	500 m	Günlük	Sinüzoidal
M*D10C1	L3	360° × 180°, Küresel	500 m	Günlük	Coğrafik
M*D10C1F	L3	360° × 180°, Küresel	500 m	Günlük	Coğrafik
M*D10A2	L3	1200 × 1200 km	500 m	Günlük	Sinüzoidal
M*D10C2	L3	360° × 180°, Küresel	500 m	8 Günlük	Sinüzoidal
M*D10CM	L3	360° × 180°, Küresel	500 m	Ay	Coğrafik

3.1.4.2.2 MODIS MOD10A1 kar ürünü

MOD10A1 kar ürünü, MODIS sensörlerinin küresel sinüsoidal projeksiyonunda gerçekleştirdiği gözlemler sonucunda oluşturulan MOD10_L2 kar ürününden ve MOD10_L2G kar ürünündeki her bir hücrenin coğrafi konumlarına göre eşleştirilmesi sonucu üretilir (Riggs vd. 2015).

Bu ürünler, algoritmalarla elde edilen verilerin birleştirilmesiyle üretilen piksellerden oluşur. Bu pikseller, en iyi NDSI, kar albedosu ve QA (Quality Assurance - Kalite Kontrol) verilerini içerir. MOD10A1 kar ürünü, bir sinüsoidal harita projeksiyonu üzerinde oluşturulmuş bir grid halinde sunulur. Her bir grid yaklaşık olarak $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ (1200 km x 1200 km) alan kaplamaktadır (Şekil 3.22) (Riggs vd. 2015, Tuttu ve Kuter 2020).

kullanarak, hava durumu, iklim ve su yönetimi gibi birçok alanda kullanılacak güçlü veriler üretmektedirler (Rui vd. 2021).

3.1.5.1 ERA5 kar su eşdeğeri veri seti

Yeniden analizlerin (re-analiz) iklim izleme uygulamalarındaki rolü geniş çapta tanınmaktadır (Dee vd. 2011). ECMWF (Avrupa Orta Menzilli -Vadeli Hava Tahmin Merkezi), Kopernik İklim Değişikliği Servisi'nin C3S (Copernicus Climate Change Service) uygulanmasının bir parçası olarak, re-analiz konusunda uzun süreli bir geçmişe sahiptir ve re-analiz veri setleri üretmektedir. Çizelge 3.7'de belirtildiği gibi ECMWF, Yeniden analiz faaliyetlerini 1979'da FGGE projesiyle başladı, ardından 1990'ların ortasında ERA-15, 2001'den 2003'e kadar ERA-40, 2006'dan 2019'a kadar ERA-Interim ve en son ERA5 veri setleri ile devam etmektedir. ERA5 bu merkezin ürettiği veri setlerinin beşinci neslidir ve daha önceki dört farklı neslin geliştirilmiş sürümüdür (Hersbach vd. 2020).

ERA5, 2006 yılında başlatılan ve 1979'dan 2019'a kadar olan hava durumu verilerini içeren ERA-Interim yeniden analizin yerini almıştır. ERA5, daha gelişmiş bir veri işleme algoritması kullanarak daha yüksek çözünürlüklü ve doğru veriler sağlamaktadır (Hersbach 2019).

ECMWF'nin dışında, dünya çapında reanaliz verileri üreten diğer kuruluşlar da bulunmaktadır ve NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi tarafından üretilen MERRA-2 (Gelaro vd. 2017), Japonya Meteoroloji Ajansı (JMA) tarafından üretilen JRA-55 (Kobayashi vd. 2015), ve ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NCEP) tarafından üretilen CFSR (sürüm 2) (Saha vd. 2014), bunların başında gelmektedirler.

Re-analiz, geçmiş hava durumu verilerini, bugünkü model ve veri işleme teknikleriyle yeniden işlemek için kullanılan bir tekniktir. Bu işlem, meteorolojik değişkenlerin geçmiş dönemlerdeki durumunu analiz etmek, doğrulamak ve gelecekteki hava durumu tahminlerinin kalitesini artırmak için kullanılmaktadır (Hersbach vd. 2020).

Çizelge 3.6 ECMWF'nin başlangıçtan günümüze kadar re-analiz veri setleri (Hersbach vd. 2020)

Yeniden Analiz	Zaman Aralığı	Piksel boyutları	Asimilasyon şeması	IFS model döngüsü (Yıl)	Kaynak
FGGE	1979	208 km	OI	(1980)	Bengtsson vd. (1982)
ERA-15	1979-1994	125 km	OI	13r4 (1995)	Gibson vd. (1999)
ERA-40	1957-2002	125 km	3D-Var	23r4 (2001)	Uppala vd. (2005)
ERA- Interim	1979-2019	80 km	4D-Var	31r2 (2006)	Dee vd. (2011)
ERA5	1950- Devam	31 km	4D-Var	41r2 (2016)	Hersbach vd. (2020)

ERA5 verileri, 2016 yılında ECMWF'de faaliyete başlayan Entegre Tahmin Sistemi (Integrated Forecasting System, IFS) Döngüsü, 41r2 kullanılarak üretilmektedir ve 4D-Var veri asimilasyon yöntemine dayanmaktadır. IFS, hava durumu tahminlerinde kullanılan bir modeldir. ERA5 veri seti, bu modelin bir parçası olan 4D-Var veri asimilasyonu yöntemiyle oluşturulmuştur ve fiziksel yasaları temel alarak gerçek gözlem verileri, uydu gözlemleri ve model verilerini birleştirerek küresel ölçekte ve $9 \text{ km} \times 9 \text{ km}$ mekânsal ve yüksek zamansal çözünürlükte (saatlik) tutarlı verileri üreten ve çeşitli hidrolojik parametreleri yeniden analiz eden bir veri setidir. Böylelikle, ERA5, model fiziği, çekirdek dinamikleri ve ERA-Interim'in on yıllık veri asimilasyon gelişmeleri sayesinde daha yüksek çözünürlüklü ve doğru veri asimilasyonu yapmaktadır. Bu veri seti, kar albedosu, kar örtüsü, kar derinliği, kar yağışı, kar tabakası sıcaklığı, kar erimesi, kar yoğunluğu ve kar suyu eşdeğeri dahil olmak üzere sekiz farklı kar parametre verisini sağlar (Hersbach vd. 2020).

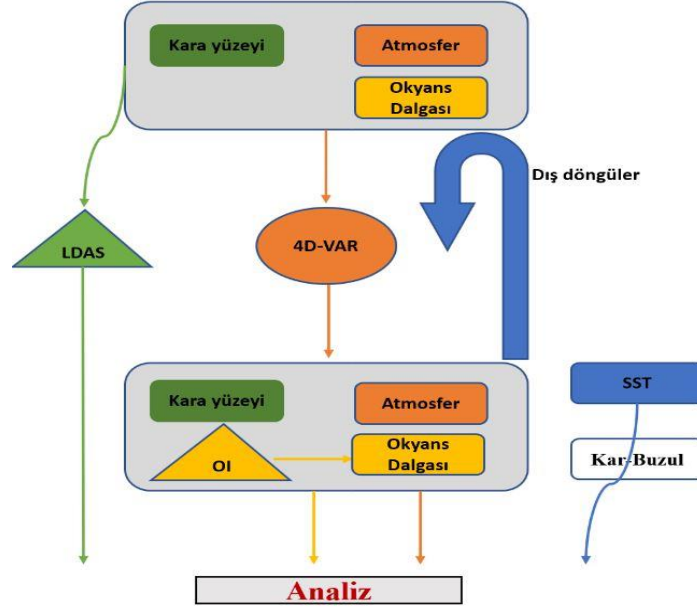
ERA5-LAND, kar suyu eşdeğeri verileri açısından diğer uzaktan algılanan veri setleriyle kıyaslandığında daha yüksek bir hassasiyet sunar. Bu veriler, su kaynakları yönetimi, iklim tahmini ve birçok diğer alanda önemli bir veri kaynağı olarak kullanılabilir (Hersbach vd. 2020, X.Y. Li vd. 2021).

ERA5, yatay çözünürlüğü önemli ölçüde geliştirilmiş olmasının yanı sıra bir dizi yenilikçi özellik de içermektedir. ERA-Interim'den ERA5'e geçiş, hem genel kalite hem de ayrıntı düzeyinde önemli bir ilerleme sağlamıştır (Hersbach 2019).

ERA5 veri setinde çözünürlüğü yükseltmek için HRES (High Resolution Ensemble System) sistemini kullanılmaktadır. Bu sistem, gözlemler ve tahminler arasındaki farkları en aza indirerek hava ve iklim durumu tahminlerinin daha doğru olmasını sağlar. HRES sistemi, farklı hava tahmin modellerinin sonuçlarını birleştirerek daha kesin ve doğru bir sonuç elde etmek için kullanılır ve artımlı 4D-Var ve Land Data Assimilation system (LDAS) olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır (Courtier vd. 1994, Penny vd. 2017) (Şekil 3.23).

Artımlı 4D-Var, bir dizi zaman adımıdaki hava durumu tahminlerinin doğruluğunu artırmak için kullanılan bir veri asimilasyon yöntemidir. Bu yöntem, model tahminleri ile gözlemler arasındaki farkları azaltarak, modelin daha doğru tahminler yapmasına olanak sağlar. Atmosferik bileşenin yanı sıra, ozon verileri de bu yöntemle assimile edilir (Courtier vd.1994).

LDAS, toprak nemi, toprak sıcaklığı, kar örtüsü ve bitki örtüsü verilerini kullanarak, modelin kara yüzeyi üzerindeki etkisini hesaplar. Bu, toprak yüzeyi ve bitki örtüsünün hava durumunu nasıl etkilediğine dair daha iyi bir anlayış sağlar. LDAS, HRES asimilasyon sisteminde zayıf bağlantıyla kullanılır, yani toprak yüzeyi ve diğer gözlemlerin etkileri, sonraki analiz aşamasında atmosferik bileşenle birleştirilir (Penny vd. 2017).



Şekil 3.22 ERA5 için ozon (ATMO), kara yüzeyi (LAND), okyanus dalgaları (WAVE), deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) ve deniz buzu (ICE) dahil olmak üzere atmosfere ilişkin asimilasyon diyagramı (Hersbach vd. 2020)

ERA5 verileri, Avrupa Birliği'nin Dünya gözlem programı (Copernicus- Europe's eyes on Earth) Atmosfer İzleme Servisi (CAMS) tarafından işlenir, yönetilir ve depolanır. Bu veriler CDS (Climate Data Store) aracılığıyla GRID ve NetCDF formatı ile arşivlenerek ücretsiz olarak erişilebilir hale getirilir (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>). Veri seti, saatlik ve aylık olarak 9km × 9km'lik mekansal çözünürlük ile Ocak 1950'den bugüne kadar olan zaman dilimini kapsamaktadır.

3.1.5.2 GLDAS-2 KSE veri seti

GLDAS (Global Land Data Assimilation System), küresel ölçekte hidrolojik ve meteorolojik verilerin toplanması, işlenmesi, modellenmesi ve analiz edilmesi amacıyla geliştirilen bir sistemdir. Bu sistem, NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezi (Goddard Space Flight Center-GSFC) ve NOAA'nın Ulusal Çevresel Tahmin Merkezi (National Centers for Environmental Prediction-NSEP) tarafından ortak girişim olarak geliştirilmiştir (Rodell vd. 2004, Fang vd. 2009).

GLDAS, dünya genelindeki kara yüzeyi durumlarını (toprağın nemi, sıcaklığı, kar örtüsü vb.) ve akıllarını en uygun şekilde modellenmesi için uydu ve yer tabanlı gözlem verilerini toplayarak gelişmiş yer yüzeyi modelleme ve veri asimilasyon tekniklerini kullanmaktadır. Bu amaçla, 4 farklı atmosfere bağlı olmayan kara yüzeyi modelini (Land Surface Model-LSM) farklı veri kaynaklarından toplanan çok sayıda gözlem verileriyle küresel ölçekte entegre bir şekilde çalıştırılır. GLDAS verilerinin üretiminde dört farklı LSM kullanılmaktadır: NOAH, Catchment (CLSM), Community Land Model (CLM) ve Variable Infiltration Capacity (VIC) (Kumar vd. 2006).

Bu modeller tarafından simüle edilen toprak nemi, yüzey sıcaklığı, buharlaşma ve kar su eşdeğeri gibi kara yüzeyi durumları ve akış ürünleri, NASA Goddard Yeryüzü Bilimleri Veri ve Bilgi Servisleri Merkezi'nde (NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center-GES DISC) erişilebilir hale getirilmiştir. 1.0 ve 0.25 derece mekansal çözünürlüklü veri ürünlerini içeren veri seti, 1979 yılından günümüze kadar olan dönemi kapsamaktadır ve GRIdded Binary (GRIB) formatında sunulmaktadır. 0.25 derece çözünürlüklü ürünleri sadece NOAH modelinin verilerini içermektedir (Fang vd. 2009, Beaudoin vd. 2023). GLDAS verilerinin temel özellikleri Çizelge 3.8'de getirilmiştir.

Çizelge 3.9, GRIB formatındaki veri dosyalarında bulunan Ürün Tanımı Bölümü (PDS) kimliği ile eşleştirilmiş parametre adlarını içeren bir liste sunmaktadır. Bu tablo, kullanıcıların belirli bir GRIB veri kümesinde bulunan parametreleri daha kolay tanımlayıp seçebilmelerine olanak tanır.

Çizelge 3.7 GLDAS verilerinin temel özellikleri (Fang vd. 2009)

Özellikler	Veriler
Enlem kapsamı	-60° to 90°N
Boylam kapsamı	-180° to 180°E
Mekansal çözünürlük	0.25°, 1.0°
Zamansal çözünürlük	3-saatlik ve Aylık
Zaman Aralığı	1 Ocak 1979 dan günümüze
Yer Yüzeyi Modelleri(LSM)	CLM 2.0 (1.0°) MOSAIC (1.0°) NOAH 2.7.1 (1.0°) VIC water balance (1.0°) NOAH 2.7.1 (0.25°)

GLDAS verilerinin oluşturulmasında farklı kaynaklardan da yararlanılmıştır. Bu kaynaklar 1 Ocak, 1979'dan günümüze kadar zaman içinde sürekli değişerek gelişmektedir:

- 1979-1993 yılları arası dönem için, ECMWF yeniden analiz verileri (Berg vd. 2003) kullanılmıştır ve bu verilerdeki sapmalar düzeltilmiştir.
- 1994-1999 yılları arası dönem için, NCAR yeniden analiz verileri (Berg vd. 2003) kullanılmıştır ve bu verilerdeki sapmalar düzeltilmiştir.
- 2000 yılında, NOAA/GDAS atmosferik analiz alanları kullanılmıştır.
- 2001-2007 yılları arası dönem için, NOAA Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation (CMAP) alanları ile birleştirilmiş NOAA/GDAS atmosferik analiz alanları kullanılmıştır.
- Ayrıca, Air Force Weather Agency'nin AGRicultural METeorological modeling system (AGRMET) yöntemi kullanılarak türetilen gözlem temelli aşağı yönlü kısa dalga ve uzun dalga radyasyon alanları da kullanılmıştır. Bu kaynaklardan elde edilen veriler birleştirilerek, GLDAS verilerinin oluşturulmasında kullanılan modellerde girdi olarak kullanılmaktadır (Fang vd. 2009).

Çizelge 3.8 GLDAS projesinde üretilen veri ürünlerinin listesi (Fang vd. 2009)

PDS IDs*	Adı	Birim
001	Yüzey basıncı	Paskal
011	Yüzeğe yakın hava sıcaklığı	K
032	Yüzeğe yakın rüzgar şiddeti	m/s
051	Yüzeğe yakın bağıl nem	Kg/kg
057	Toplam evapotranspirasyon	kg/m ²
065	Kar Su Eşdeğeri	kg/m ²
085	Ortalama toprak sıcaklığı	K
086	Ortalama toprak nemi	kg/m ²
099	Kar erimesi	kg/m ² /s
111	Net kısa dalga radyasyonu	W/m ²
112	Net uzun dalga radyasyonu	W/m ²
122	Hissedilir ısı	W/m ²
138	Ortalama yüzey sıcaklığı	K
234	Yeraltı akışı	kg/m ²
235	Yüzeysel akış	kg/m ²

Çizelge 3.9'daki PDS Ids, Planetary Data System (PDS) tarafından tanımlanan benzersiz kimlik numaralarıdır. PDS IDs, her veri seti veya dosya için benzersiz bir kimlik numarası olarak atanır ve bu numara, verinin kolayca tanımlanmasına ve erişilmesine olanak tanır.

GLDAS/NOAH modelindeki KSE verilerinin üretiminde NASA'nın Terra uydusundaki MODIS sensöründen elde edilen kar örtüsü verileri Rodell ve Houser (2004) tarafından tanımlanan güncelleme tekniği ile kullanılmıştır. Modellenen KSE verileri ile MODIS kar örtüsü verileri karşılaştırılarak modellenen KSE'leri güncellenmiştir. Eğer modelde kar yokken MODIS kar örtüsü yüzdesi % 40'tan büyükse, piksellere 10 mm KSE miktarı eklenir. MODIS tarafından belirtilen kar örtüsü yüzdesi % 10'dan az olan piksellerden kar çıkarılır ve modeldeki KSE durumu bu şekilde güncellenir. Böylece, MODIS verileri modelin KSE tahminlerini düzeltmek ve karlı alanların doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlamak için kullanılmıştır (Rodell ve Houser 2004).

GLDAS verileri, özellikle yer tabanlı verilerin bulunmadığı bölgelerde birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. GLDAS tarafından sağlanan veriler, yağış, kar ve buharlaşma (evapotranspirasyon) gibi yer yüzündeki su döngüsü bileşenlerinin doğru bir şekilde modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bu veriler aynı zamanda, su kaynaklarının yönetimi, kuraklık yönetimi, tarım verimliliği ve sel tahmini gibi çalışmaları için son derece önemlidir (Ferreira vd. 2014).

3.2 Yöntem

Çalışmanın bu aşamasında verilerin elde edilmesi, haritaların oluşturulması, zaman serisi analizleri ve kullanılan istatistiksel metotlar açıklanmıştır.

3.2.1 AMSR-E KSE verilerinin elde edilmesi ve işlenmesi

Bu çalışmada, 2002-2011 yılları için AMSR-E den elde edilen aylık KSE verileri Level 3 seviyesinde NSIDC'nin sunduğu Python kodları kullanılarak HDF-EOS2 formatında elde edilmiştir. Japonya Uzay Keşif Ajansı'ndan (JAXA) gelen Level-1A verileri,

Kaliforniya'daki Uzaktan Algılama Sistemleri (RSS-Remote Sensing Systems) tarafından alınır. Bu veriler, NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC) üzerinden iletilmektedir. RSS, Level-2A yeniden örneklenmiş parlaklık sıcaklığı ürününü oluşturarak bu ürünü Dosya Aktarım Protokolü (FTP-File Transfer Protocol) yoluyla Küresel Hidroloji-İklim Merkezi (GHCC-Global Hydrology Climate Center) AMSR-E Veri İşleme Sistemi'ne (SIPS- Satellite-based Information Processing System) iletir. AMSR-E SIPS ekibi, Level-2A verilerini Level-2B ürünlerine ve ardından Level-3 günlük, 5 günlük, haftalık ve aylık ızgara ürünlerine dönüştürür. Level-2A, -2B, -3 ürünleri, ilgili meta veriler, üretim geçmişleri, kalite güvence dosyaları, yan dosyalar ve Teslimat Algoritma Paketleri (DAP'ler) Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi (NSIDC) Dağıtım Aktif Arşiv Merkezi'nde (DAAC-Distributed Active Archive Center) arşivlenerek kullanıcılara sunulmaktadır (Lobl 2012).

HDF formatından elde edilen veriler HEGtools yazılım programı kullanılarak (Tekeli vd. 2005) GeoTIFF formatına dönüştürülmüştür. HEGtools (HDF-EOS to GeoTIFF Conversion Tool) NASA'nın "HDF-EOS" veri formatını "GeoTIFF" formatına dönüştürmek ve işlemek için kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım, hem MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) hem de AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) gibi NASA uyduları tarafından toplanan verileri işlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. HEGtools hakkında detaylı bilgiler <https://hdfeos.org/software/heg.php>'da mevcuttur. HEGTool yazılımı kullanılarak, haritalara Jeoreferanslama işlemi uygulanmıştır ve ardından, ArcMap ortamında, haritalar oluşturularak AMSR-E KSE verileri elde edilmiştir.

Uzaktan algılama, re-analiz ve veri asimilasyon sisteminin grid bazlı verilerinin yeryüzeyi ile mekânsal olarak örtüşmesini sağlamak amacı ile İran için kullanılan UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyonu, WGS 84 Datumu ve 38. zon kullanılarak referanslandırılmıştır (Georeferencing).

KSE verileri, Chang algoritması kullanılarak 25 km'lik mekânsal çözünürlükte dijital harita olarak kaydedilmiştir. Bu haritaların piksel değerleri, 0-255 aralığında olup 0-240 değerleri KSE değerlerini milimetre cinsinden ifade etmektedir. 252-253-254-255 değerleri sırayla kara veya kar imkansız (252), buzul (253), su (254), veri eksik (255) olduğunu ifade etmektedir. Gerçek KSE değerleri, kaydedilmek için 2'ye bölünmüştür (Gao vd. 2010, Kelly vd. 2007). Bu nedenle, verileri kullanmak için önce her piksel değerinin 2 ile çarpılması gerekmektedir.

Chang Algoritmasında (Chang vd. 1987), kar yoğunluğu 300 kg/m³ ve kar taneleri boyutu 0.3 mm olarak kabul edilmiştir ve sabit kar yoğunluğu kullanıldığı için, farklı bölgeler için farklı kar yoğunluklarında yanlış sonuçlara sebep olabilir. Bu yüzden bu çalışmada kar yoğunluğunu değiştirerek istasyonlarda ölçülen gerçek kar yoğunluğu kullanılarak algoritma revize edilmiştir. Sonuç olarak da bu veriler istasyon verileriyle karşılaştırılmıştır.

AMSR-E'den elde edilen verilerle kar ölçüm istasyonlarında ölçülen verilerin değerlendirilmesi için R kare (R-squared) ve hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) (Liang vd. 2015) metrikleri kullanılmıştır. Saha ölçüm verileri ile en iyi uyum sağlayan veri seti seçilmiştir ve diğer hidroiklim verileri ile ilişkisi ortaya konmuştur. Bu amaçla çoklu doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır.

3.2.2 MODIS MOD10A1 ürünü ikili kar haritalarının oluşturulması

Geçmiş yıllarda kar ölçüm çalışmaları için büyük miktarda görüntü ve verinin indirilmesi ve analiz için düzeltme ve hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Ancak son yıllarda Google Earth Engine platformunun sağladığı olanaklar sayesinde, görüntülerin incelenmesi ve analizi özellikle zaman serisi analizleri kısa sürede yapılabilir hale gelmiştir. Bu ise zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmada 22 yıllık (2000-2022) bir zaman diliminde havzadaki kar örtüsünün tespiti ve zaman serisi analizi, GEE platformunda JavaScript kodlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle Urmiye Gölü Havzası ve alt havzalarının sınırları HydroSHEDS verilerine dayalı olarak belirlenmiştir ve havzanın shapefile'ı GEE platformuna yüklenilerek çalışma alanı olarak tanımlanmıştır. HydroSHEDS, hidrolojik verilerin küresel ölçekte standartlaştırılması ve temsil edilmesi amacıyla geliştirilmiş bir veri setidir. HydroSHEDS, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) tarafından sağlanan yüksek çözünürlüklü (90 metre) sayısal yükseklik verilerini kullanarak, dünya çapında havza sınırları, akarsu ağı ve diğer hidrolojik özellikleri temsil eden bir dizi raster veri seti oluşturur (<https://www.hydrosheds.org/>).

Urmiye Gölü Havzasındaki karla kaplı alanları tespit etmek ve zaman serisi analizi yapmak için 18 Şubat 2000 ile 1 Ocak 2022 arasındaki MODIS günlük görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan küresel 500 m mekânsal çözünürlüklü, günlük kar örtüsü ürünü (MOD10A1.006 Snow Cover Daily Global 500m), kar örtüsü, kar albedosu, fraksiyonel kar örtüsü ve QA verilerini içermektedir. MODIS ürününün C6 sürümü, önceki sürümlere göre daha gelişmiş bulut ve bulut gölgesi algılama algoritmaları kullanarak daha yüksek doğruluk sağlamayı amaçlamaktadır.

Bir NIR bandında 0.11'lik bir eşik, su piksellerinin kar olarak sınıflandırılmasını önlemek için yaygın olarak kullanılmıştır (Hall ve Riggs 2010, Klein vd. 1998, Hall vd. 2002b). Ancak kar ürünleri, su piksellerinin yanlış sınıflandırılması gibi birçok sınırlamadan etkilenir (Riggs vd. 2017). Bu nedenle, karla kaplı alanları yeniden oluştururken su pikselleri kaldırıldı. Su pikselleri, Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi'ne (NDWI) bir eşik değeri uygulanarak tanımlandı. Su pikselleri, yakın kızılötesi banttaki güçlü su emilimi ve yeşil banttaki nispeten daha yüksek yansıma nedeniyle NDWI uygulanarak tanımlanmıştır (McFEETERS 1996). NDWI MODIS için aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$NDWI_{MODIS} = \frac{green(MODIS\ band4) - NIR(MODIS\ band2)}{green(MODIS\ band4) + NIR(MODIS\ band2)} \quad (8)$$

NDWI değeri 0.2'den büyük olan ve band 2'deki yakın kızılötesi yansıma 0.2'den küçük olan pikseller su olarak tanımlanır (Hall vd. 2002b, McFEETERS 1996). Su maskesi uygulandıktan sonra kar örtüsü alanı tekrar hesaplanmıştır ve 22 yıl için hesaplanan kar örtüsü alanı GEE'den elde edilmiştir.

Özetle, GEE platformunda, kar örtüsünü hesaplamak için aşağıdaki işlem adımları izlenmiştir:

- 1) İlk olarak çalışmada alanının koordinatları ve uydu verileri GEE'ye tanımlanır.
- 2) Belirli bir zaman aralığına ait uydu görüntülerini seçmek için filtreleme işlemi yapılır.
- 3) Uydu verilerine kullanıcı kitapçığında ifade edilen şekilde görüntü ön işleme adımları uygulanır.
- 4) Daha sonra kullanılacak bantlar seçilir. Kullanılan uyduya göre bu bantlar değişiklik göstermektedir. MODIS Kar örtüsü için 4 ve 6 bantlar kullanılır.
- 5) NDSI görüntüler için hesaplanır ve hesaplanan NDSI'ye göre kar alanları belirlenir. Bu indeksin algoritması kodlanarak GEE'ye tanımlanır.
- 6) Daha sonra su maskesi uygulanır ve ardından karla kaplı alanlar hesaplanır ve günlük veriler CSV formatında indirilerek istatistiksel işlemler için kullanılır
- 7) Görüntüler GeoTIFF formatında indirilerek ArcGIS'te kar örtüsü haritaları oluşturulmuştur.
- 8) CSV formatında elde edilen günlük km² cinsinden kar örtüsü alanı mm cinsinden elde edilen kar su eşdeğerinin MCM birimine dönüştürmek için kullanılmıştır. Ayrıca yıllık kar örtüsü haritaları oluşturularak havzanın topografik özellikleri yönünden analiz edilmiştir.

3.2.3 Yeniden analiz ve asimilasyon sistemi KSE verilerinin elde edilmesi

ERA5 re-analiz ve GLDAS modeli veri setinden havzadaki aylık KSE verilerinin elde edilmesi ve (1985-2022) 37 yıllık bir zaman diliminde zaman serisi analizi, GEE

platformunda JavaScript kodlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Urmiye Gölü Havzası ve alt havzalarının sınırları HydroSHEDS verilerine dayalı olarak belirlenmiştir ve havzanın shapefile'ı GEE platformuna yüklenilerek çalışma alanı olarak tanımlanmıştır. GEE'de ERA5 aylık kar suyu eşdeğeri görüntü koleksiyonu *ee.ImageCollection("ECMWF/ERA5_LAND/MONTHLY_AGGR")* olarak isimlendirilmiştir. Bu görüntüler GEE Programlama Arayüzüne tanımlandıktan sonra filtreleme ve maskeleyme işlemi uygulanmıştır. En son veriler CSV formatında indirilmiştir ve zaman serisi analizi yapılmıştır.

GLDAS kar su eşdeğeri verileri için GEE'de NOAA modelinin 3 saatlik çıktıları kullanılmıştır. Bu proje kapsamında, her 3 saatte bir 0.25° mekânsal çözünürlüğünde KSE ürünleri üretilmektedir. GEE'de GLDAS KSE görüntü koleksiyonu iki farklı sürümde sunulmaktadır:

- 1979-2014 yılları için
ee.ImageCollection("NASA/GLDAS/V20/NOAH/G025/T3H")
- 2000-2022 yılları için
ee.ImageCollection("NASA/GLDAS/V021/NOAH/G025/T3H")

Çalışmada 1985-2014 yılları için GLDAS V20 ve 2014-2022 yılları için GLDAS V021 verileri kullanılmıştır. Urmiye Gölü Havzası sınırları ve yukarıdaki görüntüler GEE Programlama Arayüzüne tanımlandıktan sonra filtreleme ve maskeleyme işlemi kodlanarak uygulanmıştır. Her gün için 8 tane ürün CSV formatında indirilmiştir. Günlük ve aylık ortalama ise 3 saatlik ürünlerin aritmetik ortalamasından hesaplanmıştır.

AMSR-E, ERA5 ve GLDAS KSE verileri aylık ortalama ve yıllık toplam olarak 2007-2013 yıllarına ait saha ölçüm KSE verileri ile karşılaştırılmıştır. Havza genelindeki 81 farklı kar gözlem istasyonunda ölçülen ortalama aylık kar su eşdeğeri verileri, 2007-2013 yıllarını kapsayan yedi yıllık periyot için IMGGM'den temin edilmiştir. Karşılaştırmada tüm havzanın aylık ortalama KSE verilerinin yanı sıra doğrulama amaçlı 4 farklı istasyon verileri de kullanılmıştır ve en uygun KSE verisi (ERA5) amacımız için seçilmiştir ve diğer hidroiklim verileri ile ilişkisi ortaya konmuştur.

İstatistiksel analizler R studio’da gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel metotlarla ilgili bölüm 3.2.6’da ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Havza genelinde gerçek KSE miktarının milyon metreküp olarak hesaplanması için her pikselin milimetre cinsinden KSE verisi pikselin alanına çarpılarak o pikselin boyutunu karşılayan KSE hacmi elde edilmiştir.

3.2.4 KSE haritalarının oluşturulması

Çalışma sahasında kar su eşdeğeri dağılımının haritalanması, çalışma alanının sınırı dışında kalan gereksiz verilerin ve aynı zamanda piksellerin sınır dışında kalan kısımlarının analiz sürecinde kullanılmamasını sağlamak ve istasyonlara denk gelen noktasal verileri elde etmek için ArcGIS kullanılmıştır. Verilerin ArcGIS ortamında analiz edilebilmesi ve değerlendirilebilmesi için öncelikle Mekânsal Analiz Araçları (Spatial Analyst Tools) kullanılmıştır. Bu amaçla mask işlemi ile birlikte ArcGIS’te “Raster to point” işlemi gerçekleştirilerek grid bazlı veriler noktasal verilere dönüştürülmüştür ve ardından enterpolasyon yöntemlerinden biri olan Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW-Inverse Distance Weighted) ile çalışma alanı için KSE haritaları oluşturulmuştur. İklim faktörlerinin etkilerini daha iyi anlayabilmek ve doğru tahminler yapabilmek için, iklim verilerinin dijital formatta mekânsal olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu veriler CBS ortamında diğer coğrafi ve hidrolojik faktörlerle ilişkilendirilerek, hidrolojik modellerin oluşturulmasında kullanılmaktadır (Nemani vd. 1993, Nusser ve Goebel 1997, Özdemir 2007). Aynı zamanda enterpolasyon yöntemi özellikle verisi olmayan noktalardaki değerleri matematiksel yollarla tahmin etmeye olanak sağlar (Hudson ve Wackernagel 1994, Hammond ve Yarie 1996, Holdaway 1996, Booth ve Booth 2000).

IDW enterpolasyon tekniği, ölçümlerin yakın çevresindeki noktalara daha fazla ağırlık vererek, verisi olmayan noktaların değerlerini tahmin etmek için kullanılır (Lo ve Yeung 2006). Bu teknik, matematiksel formüller kullanarak nokta verilerinden sürekli bir yüzey oluşturmak için kullanılan deterministik bir yöntemdir (Güler ve Kara 2007). Nokta verilerinden sürekli bir yüzey oluşturmak için sıklıkla tercih edilen bu yöntem,

belirli bir noktanın tahmini değerini hesaplamak için yakındaki noktaların verilerini doğrudan kullanarak çalışır (Booth ve Booth 2000). Bu yöntem, enterpole edilecek noktaya olan uzaklıklara göre ağırlıkları azaltır ve örnek noktaların ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu gerçekleştirir. Bu sayede en yakın veriler, sonuç üzerinde daha fazla etkiye sahiptir. Ayrıca, enterpole edilecek yüzeydeki ayrıntılar da, yakın noktalara daha fazla ağırlık verildiği için daha belirgin hale gelir. IDW formülü, yakınlık derecelerine göre ağırlıklı bir ortalama hesaplar ve sonuç olarak bir yüzey oluşturur. IDW da kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir (Philip ve Watson 1982, Booth ve Booth 2000, Burrough vd. 2015, Akar 2011).

$$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}} \quad (9)$$

Eşitlik 9’da m_i , nokta verisini ve d_i , noktalar arası mesafeyi göstermektedir.

Doğruluk analizini yapmak için havzanın sınırları içerisinde yer alan 4 kar ölçüm istasyonunun saha ölçüm verileri ile AMSR-E, GLDAS2 ve ERA5’den elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Bu 4 istasyonun seçilmesinde 2 kriter göz önünde bulundurulmuştur. ERA5 grid verilerinin 9 km × 9 km pikselleri baz alınarak noktasal verilere en yakın ve 7 yıl boyunca en az eksik verisi olan istasyonlar seçilmiştir. Çizelge 3.10’da 4 istasyona ait yükseklikleri ve koordinatları verilmiştir.

Çizelge 3.9 doğrulama amaçlı kullanılan kar ölçüm istasyonları

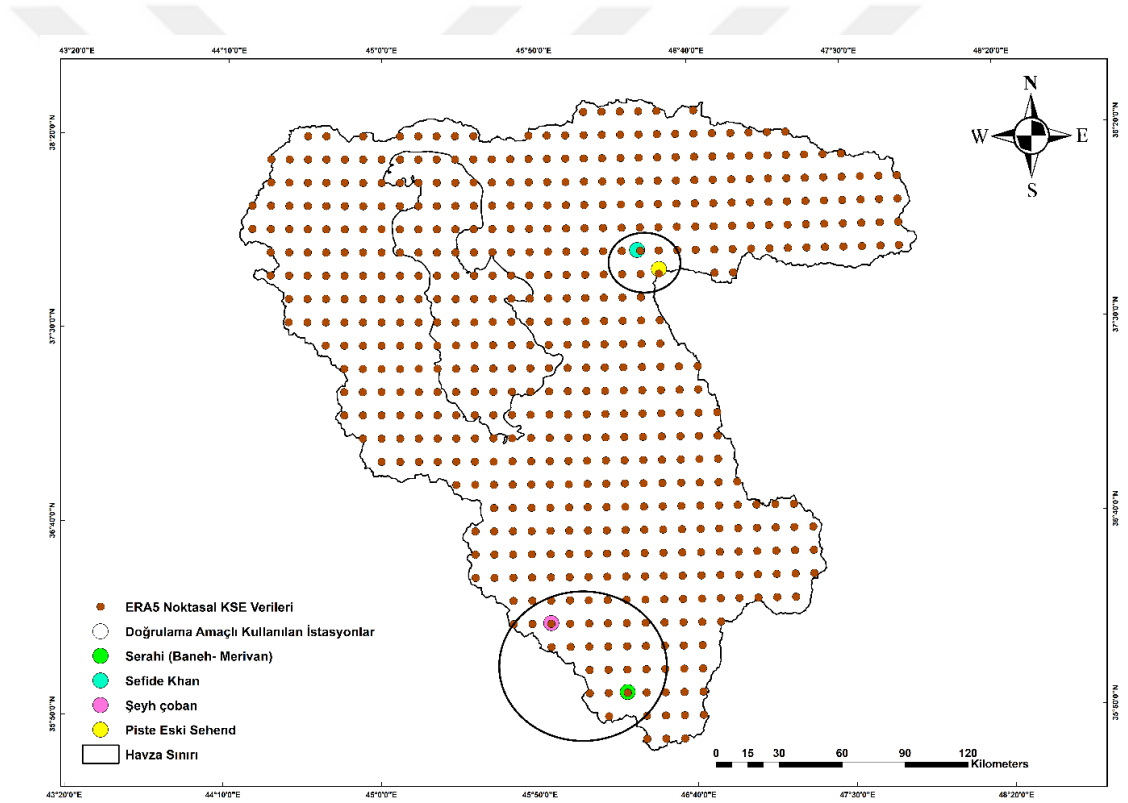
İstasyon	Yükseklik (m)	Boylam (derece- dakika)	Enlem (derece- dakika)
Şeyh Çoban	1400-1800	45-54	36-14
Serahi (Bana- Merivan)	1800-2200	46-18	35-56
Sefideh Khan	2200-2600	46-23	37-50
Piste Eski	2600-3000	46-30	37-45

ERA-5 veri rasterlarından elde edilen noktasal veriler, Öklit uzaklığı (Euclidean metric) metodu (Chen 2012, Abdikan vd. 2017) kullanılarak yer istasyonlarına olan mesafeleri

ölçülerek havzada bulunan 81 kar gözlem istasyonuna en yakın 4 noktasal veri seçilmiştir ve doğruluk analizi için kullanılmıştır. Öklit Uzaklığı (Euclidean metric), iki nokta arasındaki en kısa mesafedir ve doğrusal olarak ölçülür. Matematiksel olarak, iki nokta arasındaki Öklit mesafesi, bu noktaların koordinatları arasındaki uzaklığın kökünün alınması ile hesaplanır (Eşitlik 10).

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (10)$$

Şekil 3.24'te belirtilen 4 kar gözlem istasyonunun noktasal verileri doğruluk analizleri için kullanılmıştır.



Şekil 3.23 Uzaktan Algılama verilerinin doğruluk analizi için kullanılan 4 kar gözlem istasyonu

ERA5 KSE haritalarının oluşturulması için ERA5 aylık çıktıları kullanılmıştır. Mekansal çözünürlüğü 9 km×9 km olan KSE raster veriler copernicus'tan netCDF formatında indirilmiştir. (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=form>).

GLDAS KSE haritaların oluşturulması için GLDAS NOAH modelinin aylık çıktıları kullanılmıştır. Mekansal çözünürlüğü 25 km × 25 km olan KSE verileri GES DISC'ten netCDF formatında elde edilmiştir (<https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?keywords=GLDAS&page=1>).

Şekil 3-25'te ERA5 ve ölçüm KSE haritalarının oluşturulma süreci kademeli olarak gösterilmiştir (örnek görüntü Ocak 1985'e aittir).



3.2.5 Yükseklik ve hidrolojik haritaların oluşturulması

Çalışma alanının yükseklik haritası, havzadaki tüm akarsu kolları ve ana nehirlerin uzunluğu ve bağlantıları ve eğim haritası ASTERGDEM (Global Digital Elevation Model) uydu görüntüsü kullanılarak ArcGIS'te üretilmiştir. Üretilen haritalar (30 × 30 m) mekansal çözünürlüklü görüntülerden elde edilmiştir. Bu görüntüler NASA'nın Dağıtım Aktif Arşiv Merkezi'nden (Distributed Active Archive Center-DAAC) indirilmiştir. <https://search.earthdata.nasa.gov/search>.

Havzayı kapsayan 13 görüntüye mozaik işlemi yapıldıktan sonra ArcGIS'te Mekansal Analiz Araçları'nın (Spatial Analyst Tools) "Hydrology" kısmındaki araçlar kullanılmıştır. Bu işlemleri özetle aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Görüntülerdeki hataları gidermek için "Fill" işlemi uygulanmıştır.
- Kabartma işlemi uygulamak için "Surface" kısmından "Hillshade" işlemi uygulanmıştır. Hillshade, yükseklik raster verileri üzerinde çalışır ve yükseklik verilerindeki her bir pikselin konumunu ve yüksekliğini kullanarak, güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısını ve gölge etkisini hesaplar ve yeryüzünün kabartma haritalarını oluşturma imkânı sunar.
- Akış yönlerini belirlemek için havzada eğime göre bir raster oluşturmak amacıyla "Flow direction" işlemi yapılır. Bu araç, bir yükseklik raster verisi üzerinde çalışır ve her pikselin yükseklik değerini kullanarak yüzey akış yönlerini belirler.
- En güçlü akımların bulunması için "Flow accumulation" işlemi. Flow accumulation, bir nehir havzasında biriken suların yoğunluğunu ölçmek için kullanılır. Bu araç, her pikselde biriken suların miktarını hesaplar ve her pikselin akış yönüne göre, biriktirilen suyun miktarını toplar.
- Akarsu ağlarına ait olan raster veriyi oluşturmak için "Stream order" işlemi. Stream order, bir nehir sistemindeki herhangi bir akış yolu veya nehrin yeri hakkında bilgi sağlamak için kullanılan bir araçtır. Stream order, nehrin ana kaynağından (genellikle kaynağı veya başlangıç noktası olarak bilinen nokta) başlayarak, birinci dereceden akış yollarını, bu akış yollarına katılan akış yollarını, ikinci dereceden akış yollarını ve daha sonra bu akış yollarına katılan akış yollarını dahil ederek sayısal olarak

belirler. Bu şekilde, her bir akış yolu veya nehir, kaçınıcı dereceden bir akış yolu olduğunu gösteren bir sayıya sahip olur.

- Oluşturulan akarsu raster verilerin vektor verilere dönüştürülmesi ve akarsu ağlarının belirlenmesi için “Stream to feature” işlemi.
- En son akarsu dizinlerine filtreleme işlemi yapıp akarsu kolları ve ana nehirlerin uzunluğu ve bağlantıları belirlenir.
- Alt havzaların haritasını oluşturmak için “Basin” işlemi uygulanmıştır.

3.2.6 Trend analizleri ve istatistiksel metotlar

Çalışmada kullanılan analiz yöntemleri Mann Kendall trend analizi, regresyon analizi, R kare (R-squared), hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE), çoklu doğrusal regresyon modeli ve hipotez testleridir. İstatistiksel analizler R programlama dili ile R Studio’da gerçekleştirilmiştir.

3.2.6.1 Mann Kendall trend analizi

Mann-Kendall testi, hidrolojik ve meteorolojik zaman serilerindeki trendlerin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan parametrik olmayan bir testtir. Kendall tau istatistiği olarak da bilinen bu test, bir zaman serisinde trendin olup olmadığını kontrol etmek için sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" ile karşılaştırır. Z-test istatistiği değeri hesaplanır ve bu değerin karşılık geldiği anlamlılık seviyesi (p), kritik anlamlılık seviyesinden (α) büyük olduğunda H_0 hipotezi reddedilemezken, aksi durumda H_0 hipotezi reddedilir (Mann 1945).

“Mann-Kendall testinde n gözlem sayısı, x_k ve x_j ise “ $k = 1, 2, 3, \dots, n-1$ ” ve “ $j = k+1, k+2, k+3, \dots, n$ ” olan iki veri alt kümesi olarak kabul edilmektedir”. Test için veriler önce sıralanır ve ardından her veri, kendinden sonraki tüm verilerle karşılaştırılır. Eğer bir sonraki veri, kendisinden önceki veriden büyükse, S istatistiği 1 artırılır. Aksi durumda, S 1 azaltılır. Tüm bu artış ve azalışların sonucu, S istatistiğinin nihai değerini verir (Eşitlik 11 ve 12) (Kendall 1975).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (11)$$

$$\tau = S/[n(n-1)/2]$$

$$\text{sgn} = (x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

Kendall korelasyon katsayısı ise eşitlik (13)'te verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (13)$$

Eşitlik (13)'te tanımlanan Z istatistiğinin dağılımı standart normal dağılımdır.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

Eşitlik (16) ile hesaplanan Z'nin mutlak değeri, $Z_{\alpha/2}$ değerine göre küçükse, veri setinde bir trend olmadığı sonucuna varılabilir. Ancak Z'nin mutlak değeri, $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyükse, veri setinde bir trend olduğu sonucuna varılır (Mann 1945, Kendall 1975, Gümüş ve YeniGün 2006).

Yukarıda belirtilen denklemlerde:

S: test istatistiği, τ : Kendall'ın tau değeri, j: k+1'den n'ye kadar olan yıllar, k: 1'den n-1'e kadar olan yıllar, n: toplam gözlem sayısı, x_j : j yılındaki veri, x_k : k yılındaki veri, p: hesaplanan anlamlılık değeri ve α : kritik anlamlılık değerini temsil etmektedir.

3.2.6.2 Regresyon analizi

Hidrolojik olaylarda, aynı gözlem sırasında iki veya daha fazla değişkenin aldığı değerlerin birbirinden istatistiksel olarak bağımsız olmadığı ve bu değişkenler arasında bir ilişki olduğu sıkça görülmektedir. Bu ilişki, değişkenlerden birinin diğerinden etkilendiğini gösterir. Regresyon analizi, bir ilişkinin varlığını ortaya çıkarmak ve bir denklemde nasıl ifade edilebileceğini göstermek için yapılan bir işlemdir.

Bu çalışmada yer istasyonlarında gözlemlenen KSE verileri ile uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen KSE verilerinin karşılaştırılması ve doğruluk analizi için Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE) ile R-kare performans metrikleri kullanılmıştır. Aynı zamanda elde ettiğimiz en uygun KSE verilerinin (ERA5 verilerinin) diğer hidrometrik verilerle karşılaştırılması ve ilişkilerinin ortaya konulması için Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE) ve R-kare ile birlikte çoklu doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır.

RMSE, gerçek değerler ile modelin tahmin ettiği değerler arasındaki farkın standart bir ölçüsüdür. RMSE değeri, hataların karelerinin ortalamasının karekökü olarak hesaplanır (Eşitlik 15). RMSE, genellikle regresyon modellerinin performansının ölçülmesinde kullanılır ve düşük RMSE değeri, modelin daha iyi bir performans sergilediğine işaret eder.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y})^2} \quad (15)$$

R kare (R-squared), bir modelin uygunluğunu ölçen bir istatistiksel ölçüttür. R kare, bir bağımlı değişkenin varyansının bağımsız değişkenler tarafından açıklanabileceği yüzdesini gösterir. Değerleri 0 ile 1 arasında değişir ve 1'e yaklaştıkça, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin varyansını açıklama oranı artar. R-Kare, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{Regression}}{SS_{Total}}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (16)$$

Bu formülde $SS_{Regression}$ (sum of squares of residuals) regresyon modelinin hatasıdır ve toplam karelerin toplamından açıklanmamış karelerin toplamı çıkarılarak hesaplanır. SS_{Total} (total sum of squares), toplam karelerin toplamıdır ve bağımlı değişkenin varyansının ölçüsünü temsil eder.

3.2.6.3 Çoklu doğrusal regresyon

Çoklu doğrusal regresyon analizinde, değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyen regresyon denkleminin genel formülü, eşitlik (17) ile gösterilmiştir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (17)$$

Burada, y ve x_1, x_2, \dots, x_k , gözlemlenebilen değerlerdir ve $\beta_j, j = 0, 1, \dots, k$, regresyon katsayılarıdır. β_j parametreleri, x_j 'deki birim değişimin, y 'de beklenen değişimi temsil eder. Bu nedenle, β_j parametreleri bağımsız değişkenin (x_j) kısmi etkisini tanımlar ve genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılır (Ünver 1998). Çoklu doğrusal regresyon denkleminin katsayılarını tahmin etmek için, en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır (Sieber and Uhlenbrook 2005). Bu çalışmada regresyon analizi için araştırılan model Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.10 Çoklu doğrusal modelinde kullanılan girdiler

Bağımlı değişken (y)		Bağımsız değişken (x_i)
Göle akış miktarı	=	$\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$

x_i ; KSE, yağış, tarımda kullanılan su miktarı değişkenleri ve $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$, katsayılarıdır.

Çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulduktan sonra, değişkenlerin bağımlı değişkeni ne kadar açıkladığını ve modelin uyum derecesini ölçmek için çoklu korelasyon analizi yapılmaktadır.

Çok değişkenli korelasyon katsayısı, ($R^2_{x_i}$) eşitlik (18)'deki gibi hesaplanır:

$$R^2_{x_i} = \frac{n(\beta_0 \sum y + \beta_1 \sum x_1 y + \beta_2 \sum x_2 y) - (\sum y)^2}{[n \sum y^2 - (\sum y)^2]} \quad (18)$$

Burada, n, gözlem sayısı β_0, β_1 model sabitleri y, bağımlı değişken x_i , bağımsız değişkenlerdir (Aloba Köksal 1980).

Modelin Anlamlılık Testi F-testi ile yapılmıştır.

β_j model parametreleri olmak üzere modelin test edilmesinde hipotezler şu şekildedir.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{en az bir } j \text{ için } \beta_j \neq 0$$

H_0 ' ın reddilmesi, modeldeki x_1, x_2, \dots, x_n bağımsız değişkenlerden en az bir bağımsız değişkenin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Modelden elde edilen F-istatistiği bir kritik değere göre değerlendirilir. Anlamlılık düzeyi %5 ve %1 için kritik değerler, F dağılımı tablosundan elde edilir ve modeldeki serbestlik dereceleri, örneklem büyüklüğü ve anlamlılık düzeyine göre uygun bir kritik değer seçilmelidir. Eğer hesaplanan F-istatistiği kritik değerden küçükse H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Ancak, eğer hesaplanan F-istatistiği kritik değerden büyükse, H_0 hipotezini reddedilir ve en az bir bağımsız değişkenin modelde anlamlı olduğu kabul edilir.

Bu çalışmada, göle akış miktarını etkileyen değişkenler bir arada ele alınarak çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon katsayıları hesaplanmış ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak

sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların istatistiksel anlamlılıkları F testi ile sınıanmıştır.

Çoklu doğrusal regresyon modelinde girdi olarak ölçülen yıllık yağış miktarı (mm), yıllık ERA5 KSE verileri (mm) ve yıllık tarımda kullanılan su miktarı (MCM) kullanılarak çıktı katmanı olarak göle akış miktarı(MCM) alınmıştır.



4. BULGULAR

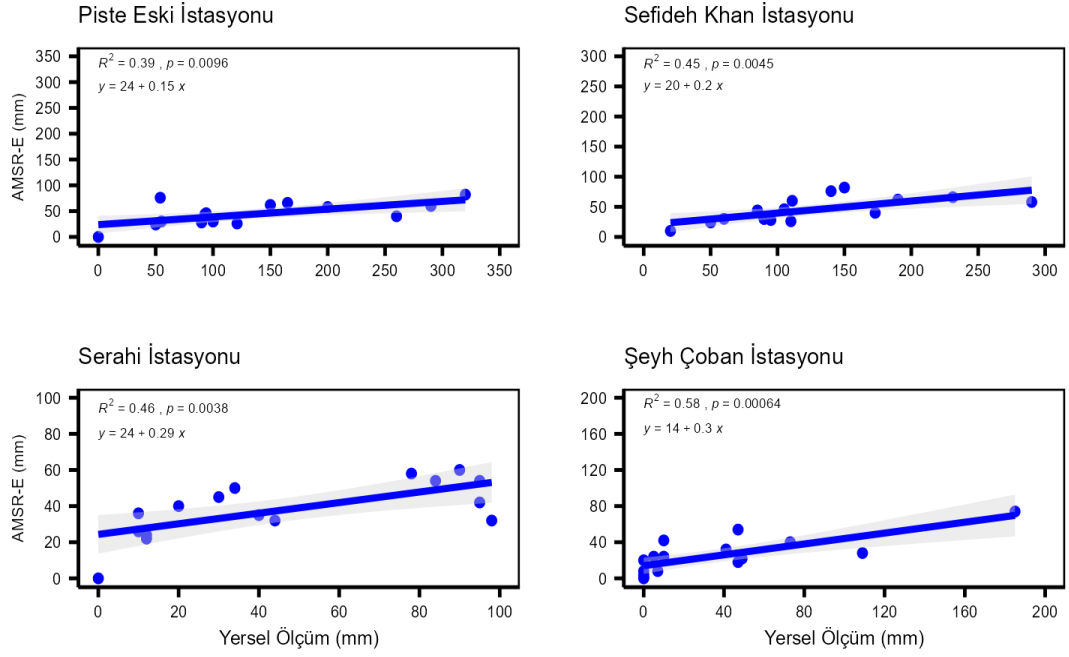
Gelişmiş bilgisayar donanım ve yazılımları, araştırmacıların temel ve çok değişkenli istatistiksel analizleri kolayca gerçekleştirmesine olanak sağlamaktadır. Bu analizler, paket programlar aracılığıyla yaygın bir şekilde kullanılabilir (Kalaycı, 2008). Bu çalışmada tüm istatistiksel analizler R programlama dilinden faydalanarak yapılmıştır. R programı, karmaşık ve hesaplama gerektiren istatistik analizlerini hızlı bir şekilde yapabilmesi nedeniyle fen bilimlerinde sıkça tercih edilmektedir.

Çalışmada, GLDAS, AMSR-E ve ERA5 aylık KSE verileri 2007-2013 yılları arasında saha ölçüm verileri ile karşılaştırıldı ve ERA5 verileri en iyi performansı gösterdiği için 1985-2022 yılları için kullanıldı ve özellikle dağlık bölgelerde kar yağışının önemi ortaya koymaya çalışıldı.

4.1 AMSR-E KSE Verileriyle Saha Ölçüm Verilerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde AMSR-E sensöründen elde edilen KSE verileri saha ölçüm verileri ile karşılaştırılarak AMSR-E verilerinin genel performansı değerlendirilmiştir.

Aqua uydusunun AMSR-E sensöründen elde edilen veriler işlenerek 2007-2011 yılları arasında, Ocak-Şubat-Mart ayları ve bazı yıllarda Nisan ayında kar ölçüm istasyonlarında ölçülen ortalama KSE verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, AMSR-E verilerinin doğruluğunu ve tahmin kabiliyetini ölçmek için 4 farklı istasyonda ve havza genelinde yapılmıştır. İstasyonlara ait karşılaştırma sonuçları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 İstasyonlarda 2007-2011 yılları arasında AMSR-E verileri ile ölçüm verilerinin karşılaştırılması

Şekil 4.1'e ve değerlendirme metriklerine bakıldığında saha ölçümler ile AMSR-E verileri arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Çalışma alanımızdaki KSE tahmini, AMSR-E sensörü verileri kullanılarak yapılan bazı çalışmalarla (Liang vd. 2015, Ansari ve Marofi 2017) kıyasla, daha yüksek bir doğruluk seviyesine sahiptir.

Genellikle uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak elde edilen KSE verileri, kar yoğunluğu topoğrafya, arazi örtüsü, istasyonlardaki ölçüm hataları, KSE haritalarının oluşturulması sırasında coğrafi koordinat hataları ve referanslama hatası gibi faktörlerden etkilenmektedir bu da gözlem ve tahmin verilerinin tutarsızlığına neden olabilir. Ayrıca istasyonların noktasal verilerine karşılık uydu görüntülerinin grid verileri de tahmin verilerinin saha ölçüm verileriyle zayıf ilişkide olduğuna sebep olabilmektedir (Ansari ve Marofi 2017).

Bazı durumlarda, kar ölçüm istasyonlarının bulunduğu konumlarda ölçüm yapmak mümkün olmayabilir ve bu nedenle istasyonların çevresinde ve farklı uzaklıklarda kar ölçümü yapılmaktadır. Ayrıca KSE ölçüm istasyonları, genellikle manuel olarak işletilir ve istasyondaki personel tarafından gerçekleştirilen ölçümlerle elde edilir. Ölçüm

hataları, özellikle ölçümlerin tam olarak belirtilen yöntemlere uygun olarak gerçekleştirilmediği veya ekipmanın doğru şekilde kalibre edilmediği durumlarda ortaya çıkabilir. Bu da gözlem ve tahmin verilerinin tutarsızlığına neden olabilir.

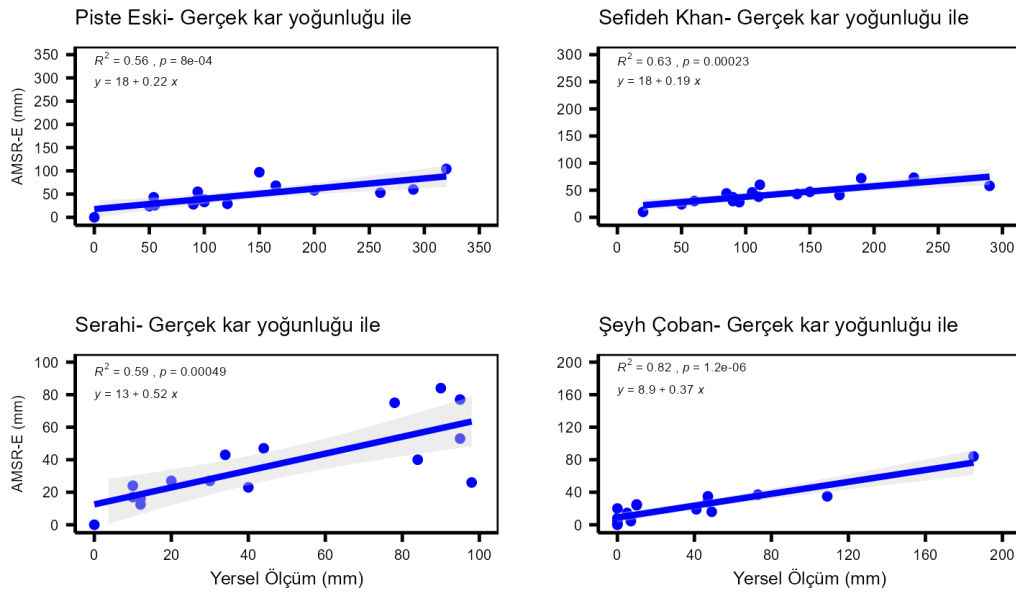
KSE haritalarının oluşturulması sırasında, Georeferencing işleminin hatasız yapılması ve istasyonların bulunduğu konumların doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Georeferencing işlemi, raster ve noktasal verilerin gerçek dünya koordinatlarına dönüştürülmesini sağlar. İstasyonların noktasal verilerine karşılık gelen pikselin tespit edilmemesi gözlem ve tahmin verilerinin tutarsızlığına neden olabilir. Özellikle iki pikselin sınırında yer alan istasyonlar, georeferencing işlemi sırasında yanlış değerler alabilirler.

Bunlara ek olarak istasyonlar genellikle yüksekliklerde bulunmaktadır ve ölçümler en yüksek noktalarda yapılmaktadır. Buna karşı raster veriler belli bir alanın ortalama değerini almaktadır ve piksel boyutlarının büyük olması tahmin verileri ile saha ölçüm verileri arasında ilişkinin düşük olmasına sebep olabilir. Bu da genellikle ölçüm verilerin tahmin verilerle kıyasta daha büyük rakamlar göstermesine sebep olur. Bu çalışmada bu olumsuz etkileri en aza indirerek kar yoğunluğu ile topoğrafya faktörlerinin etkisini de ortaya koymaya çalışılmıştır.

4.1.1 Kar yoğunluğunun AMSR-E verileri üzerinde etkisi

Bu çalışmada, kar yoğunluğunun etkisini belirlemek amacıyla istasyonlarda ölçülen gerçek kar yoğunluğunu kullanarak algoritma revize edilmiştir. Böylece, kar ölçüm istasyonlarında ölçülen kar yoğunluğu verileri kullanılarak, elde edilen veriler, 0.3 g/cm^3 'e (KSE verilerinin hesaplanmasında kullanılan sabit kar yoğunluğu değeri) bölünmüş, ardından ilgili tarihte istasyonlarda KSE ile birlikte ölçülen kar yoğunluğu ile çarpılmıştır.

Şekil 4.2’de, 4 farklı istasyon için AMSR-E verilerine istasyonlarda ölçülen kar yoğunluğu uygulandıktan sonra, sahada ölçülmüş verilerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, gerçek kar yoğunluğunun AMSR-E verileri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Tekeli (2008) Doğu Anadolu Bölgesinde ve Byun ve Choi (2014) Güney Kore’de yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar elde etmişlerdir ve kar yoğunluğunun AMSR-E KSE verileri üzerinde etkili bir faktör olduğunu ortaya koymuşlardır.



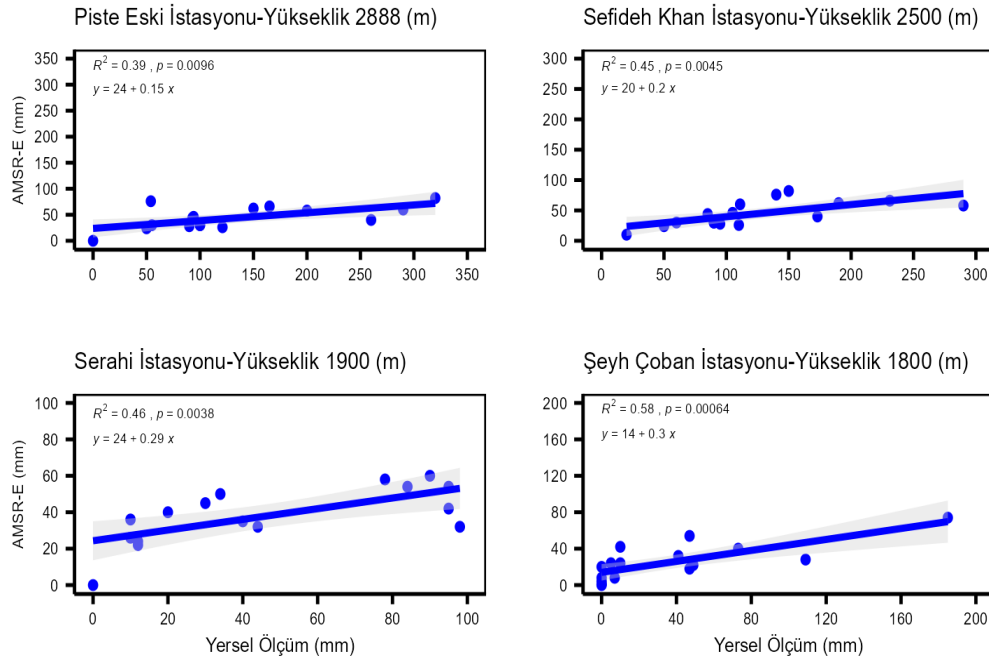
Şekil 4.2 AMSR-E verilene istasyonlarda ölçülen kar yoğunluğu uygulandıktan sonra ölçüm verileri ile karşılaştırılması

4.1.2 Topografyanın tahmin verileri üzerinde etkisi

Topografya özellikleri, arazi örtüsü ve kar özelliklerindeki önemli değişimler gibi faktörler, özellikle dağlık bölgelerde KSE tahminlerinde yanılmalara neden olabilir. Yüksek rakımlı bölgelerde mikrodalga sinyalleri, yeryüzü yüksekliğindeki büyük değişiklikler nedeniyle etkilenmektedir (Mizukami ve Perica 2012). Ayrıca, mikrodalga dalgaları belirli bir derinliğe kadar nüfuz edebilir. Genel olarak yüksek kar derinliği olan bölgelerde mikrodalga sensörlerinin KSE tahminleri için bir sınırı vardır ve bu yaklaşık 150 milimetre olarak rapor edilmiştir. Dağlık bölgelerde ise genellikle bu değerden daha fazla kar birikmektedir (Dong vd. 2005, Ansari ve Marofi 2017).

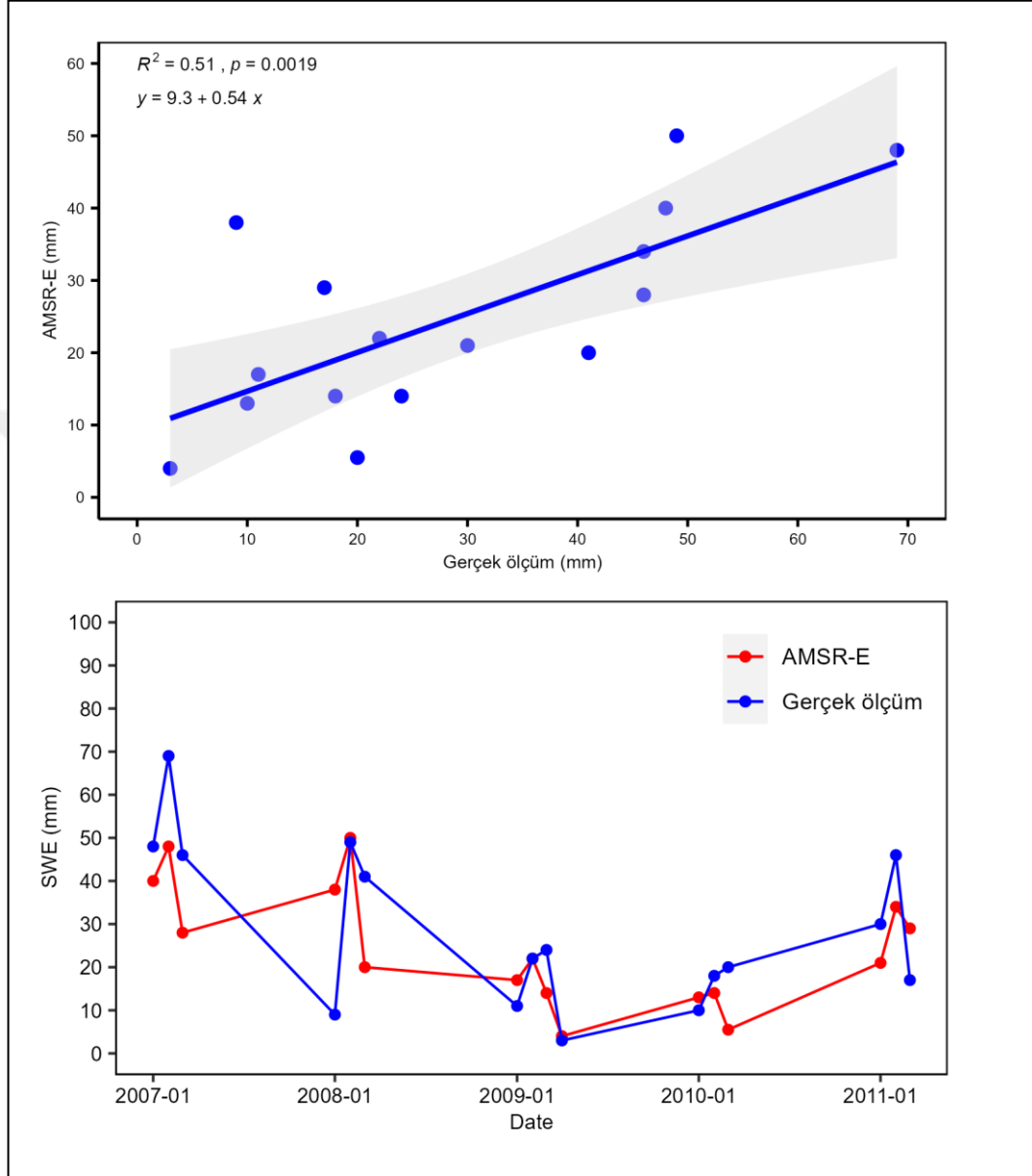
Bu nedenle, kar ölçüm istasyonlarında yüksekliğin KSE tahmini üzerindeki etkisini belirlemek için farklı yüksekliklerdeki istasyonları seçilmiştir. Özellikle yüksek rakımlı bölgelerde, KSE tahmininin doğruluğu düşük bulunmuştur. Bu durum Avrupa Uzay Ajansı'nın KSE tahminlerinde de gözükmemektedir. Avrupa Uzay Ajansı'nın Kuzey yarımküredeki KSE tahminlerinde genel olarak başarılı sonuçlar elde edilirken, dağlık bölgelerde özellikle yüksek rakımlı alanlarda bazı hatalı veriler ortaya çıkabildiği bildirilmiştir (Cohen ve Entekhabi 1999, Ansari ve Marofi 2017). Bu nedenle bu çalışmada yüksekliğin tahmin verileri üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile dört farklı yüksekliği temsil eden istasyonlar seçilmiştir ve bu istasyonlardaki saha ölçüm verileri ile tahmin verileri karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.3'te, farklı yüksekliklerde bulunan istasyonların saha ölçüm verileri ile AMSR-E KSE verileri karşılanmıştır. En iyi KSE tahmini $R^2 = 0.58$ olarak, 1800 metre yükseklikteki istasyonda elde edilmiştir. 2500 metre yükseklikteki istasyon da kabul edilebilir ($R^2 = 0.45$) sonuçlara sahip olmuş ve bu istasyonlarda KSE için uygun tahmin yapılmıştır. Ancak, 2988 metre yüksekte ($R^2 = 0.39$) KSE tahmini düşük doğruluğa sahip olmuştur. Andreadis ve Lettenmaier (2006)'nın çalışmaları da yüksekliğin artmasıyla tahmin doğruluğunun önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.



Şekil 4.3 Farklı yüksekliklerde bulunan istasyonların ölçüm verileri ile AMSR-E KSE verileri karşılaştırılması

Şekil 4.4'te havza genelinde AMSR-E verileri ile ölçüm verileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4 Havza genelinde AMSR-E verileri ile ölçüm verilerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.1'de modelde yer alan AMSR-E değişkeninin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri verilmiştir. P değeri, regresyon katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir ölçüdür. Bu nedenle H_0 hipotezi %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilir ve AMSR-E KSE verilerinin saha ölçüm verilerini tahmin etmek için kullanılabilirliğine karar verilir.

Çizelge 4.1 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri

Modeldeki Bağımsız Değişken	Standartlaştırılmamış Katsayı B	Standart Hata	Standartlaştırılmış Katsayı β	t	Anlamlılık p
(Sabit)	5.5048	6.9839		0.788	0.44372
AMSR-E	0.9456	0.2465	0.7158557	3.836	0.00182 **
Önemli kodlar: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Çizelge 4.2’de modelin özeti getirilmiştir. Bu kısımda modelin determinasyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş determinasyon katsayısı ve tahminin standart hatası görülmektedir. Modelde $R^2=0.51$ olarak hesaplanmıştır. Bu ise, gerçek KSE ölçümündeki değişimin %51’inin AMSR-E KSE verileri tarafından açıklandığını göstermektedir. Geri kalan %49’luk kısım ise hata terimi aracılığıyla açıklanan kısımdır.

Çizelge 4.2 Model özeti

Determinasyon katsayısı (R^2)	Düzeltilmiş determinasyon katsayısı	Tahminin standart hatası-RSE	RMSE
0.5124	0.4776	14 serbestlik derecesinde 13.54	12.6662

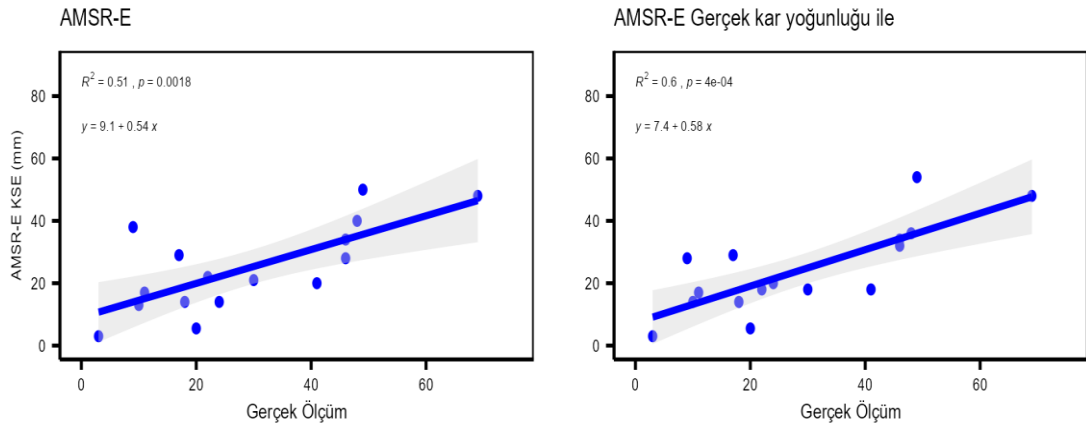
Çizelge 4.3’te modelin hipotez testi sonuçları getirilmiştir. Serbestlik dereceleri, modeldeki bağımsız değişken sayısı ve örneklem büyüklüğüne bağlı olarak hesaplanmaktadır. Kritik F değeri ise belirlenen anlamlılık düzeyi (0.05 ve 0.01) ve serbestlik derecesine bağlı olarak F dağılımı tablosundan elde edilmiştir. F-istatistiğinin belirli bir anlamlılık düzeyinde Kritik F değerinden yüksek olması, modelin genel olarak anlamlı olduğu ve değişkenler arasında ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı veya anlamsız olduğunu belirler. Burada F-istatistiği 14.71’dir ve 1 ve 14 serbestlik derecesine (serbestlik derecesinde) sahiptir. p değeri ise 0.00182’dir. Bu durumda, anlamlılık düzeyi %99 için kritik F değeri serbestlik dereceleri 1 ve 14 için 8.86’dır. F

istatistiği (14.71) kritik F değerinden (8.86) büyük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini reddeder ve ilişkinin modelde anlamlı olduğu sonucuna varılır. p değeri ise çok küçük olduğundan, sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.3 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)

F-istatistiği	1 ve 14 serbestlik derecesinde 14.71
Kritik F değeri (0.05 anlamlılık düzeyinde)	4.60011
Kritik F değeri (0.01 anlamlılık düzeyinde)	8.861593

Şekil 4.5'te AMSR-E KSE verilerinin gerçek kar yoğunluğu ile revize edilmesinin önemini göstermektedir.



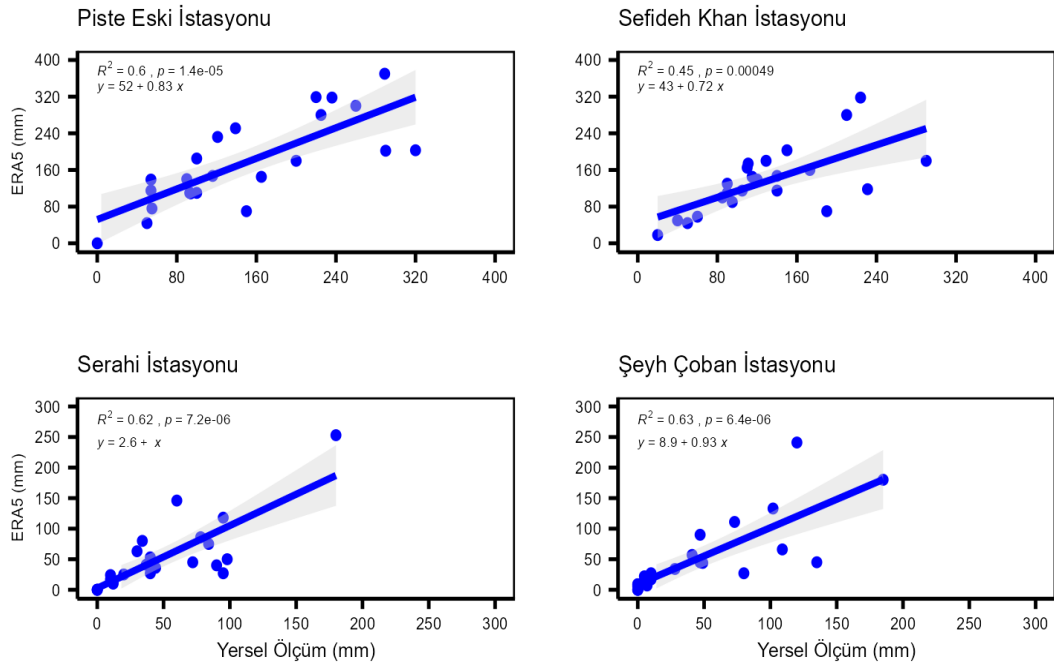
Şekil 4.5 Havza genelinde gerçek kar yoğunluğu ile algoritmayı revize ettikten sonra AMSR-E verilerin ölçüm verilerle karşılaştırılması

Şekilde de görüldüğü gibi gerçek kar yoğunluğunun kullanıldığı durumda AMSR-E verilerinin performansı önemli derecede iyileşmiştir ve korelasyon katsayısı 0.71'den 0.77'ye yükselmiştir.

4.2 ERA5 KSE Verileriyle Saha Ölçüm Verilerinin Karşılaştırılması

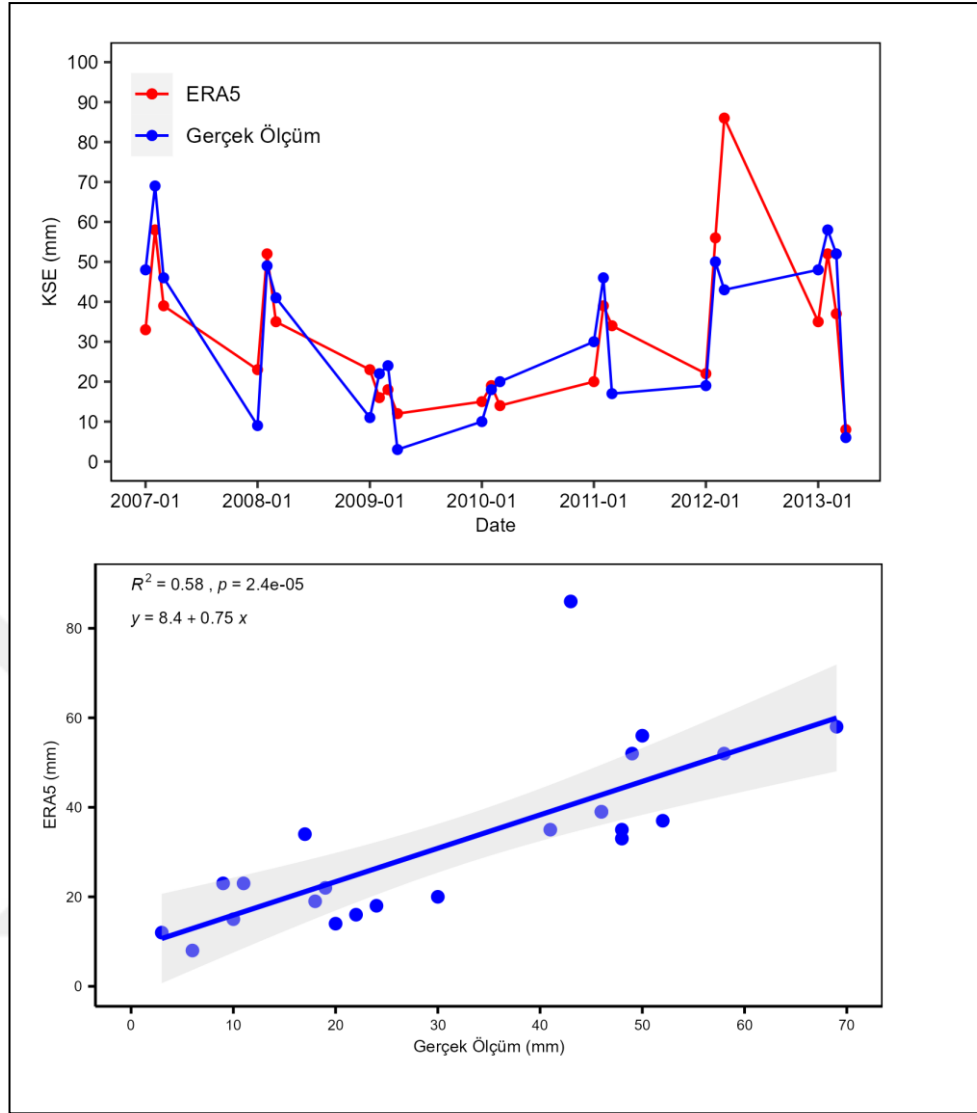
Bu bölümde ERA5'ten elde edilen KSE verileri ölçüm verileri ile karşılaştırılarak ERA5 verilerinin genel performansı değerlendirilmiştir.

ECMWF (Avrupa Orta Menzilli -Vadeli Hava Tahmin Merkezi)'nin ürettiği veri setlerinin beşinci nesli, ERA5'ten elde edilen KSE verileri, uygun yazılım aracılığıyla işlenerek 1985-2022 yılları arasında, Ocak-Şubat-Mart ayları ve bazı yıllarda Nisan ayında kar ölçüm istasyonlarında ölçülen ortalama KSE verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, ERA5 verilerinin doğruluğunu ve tahmin kabiliyetini ölçmek için 4 farklı istasyonda ve havza genelinde yapılmıştır. İstasyonlara ait karşılaştırma sonuçları Şekil 4.6'da ve havza geneline ait karşılaştırma Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 ERA5 verilerinin istasyonlardaki ölçüm verileri ile karşılaştırılması

Şekil 4.6'ya ve değerlendirme metriklerine bakıldığında saha ölçümler ile ERA5 verileri arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Çalışma alanımızdaki KSE tahmini, ERA5 verileri kullanılarak yapılan bazı çalışmalarla kıyasta, daha yüksek bir doğruluk seviyesine sahiptir.



Şekil 4.7 Havza genelinde saha ölçüm ve ERA5'den elde edilen ortalama aylık KSE verilerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.4'te modelin sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.4'te değişkenin P değeri 0.05 ve 0.01 değerinin altında olduğu için anlamlı bulunmuştur. Bu nedenle H_0 hipotezi %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilir ve ERA5 KSE verilerinin saha ölçüm verilerin'i tahmin etmek için kullanılabileceğine karar verilir.

Çizelge 4.4 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri

Modeldeki Bağımsız Değişken	Standartlaştırılmamış Katsayı B	Standart Hata	Standartlaştırılmış Katsayı β	t	Anlamlılık p
(Sabit)	6.9334	5.3726		1.290	0.211
ERA5	0.7769	0.1442	0.584243 1	5.387	2.42e-05 ***
Önemli kodlar: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Çizelge 4.5'te model özeti getirilmiştir. Modelde $R^2=0.58$ olarak hesaplanmıştır. Bu ise, gerçek KSE ölçümündeki değişimin %58'inin ERA5 KSE verileri tarafından açıklandığını göstermektedir. Geriye kalan %42'lik kısım ise hata terimi aracılığıyla açıklanan kısımdır.

Çizelge 4.5 Model özeti

Determinasyon katsayısı (R^2)	Düzeltilmiş determinasyon katsayısı	Tahminin standart hatası-RSE	RMSE
0.5801	0.5602	21 serbestlik derecesinde 12.68	12.11211

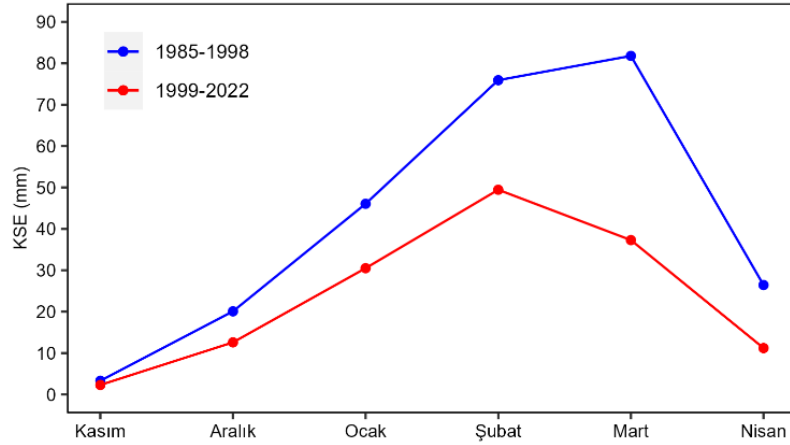
Çizelge 4.6'da Modelin hipotez testi sonuçları getirilmiştir. F istatistiği (29.02) kritik F değerinden (8.01) çok daha büyük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini kesinlikle reddeder ve ERA5 verilerinin ölçüm verilerini açıklamasında anlamlı olduğu sonucuna varılır. p değeri ise çok küçük olduğundan, sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)

F-istatistiği	1 ve 21 serbestlik derecesinde 29.02
Kritik F değeri (0.05 anlamlılık düzeyinde)	4.324794
Kritik F değeri (0.01 anlamlılık düzeyinde)	8.016597

ERA5-LAND, kar suyu eşdeğeri verileri açısından diğer uzaktan algılanan veri setleriyle kıyaslandığında daha yüksek bir hassasiyet sunar. Bu veriler, su kaynakları yönetimi, iklim tahmini ve birçok diğer alanda önemli bir veri kaynağı olarak kullanılabilir (Hersbach vd. 2020, X.Y. Li vd. 2021).,

Şekil 4.8’de iki farklı periyotta, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarına ait ortalama kar su eşdeğeri verilerini kullanarak eşleşmiş örneklem T testi gerçekleştirilmiştir. Birinci periyot 1985’ten 1998’e kadar ve ikinci periyot 1999’dan 2021’e kadar belirlenmiştir. Bu test, iki grup arasındaki ortalama değer farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için kullanılan bir istatistik testidir.



Şekil 4.8 KSE’nin aylara göre değişimi

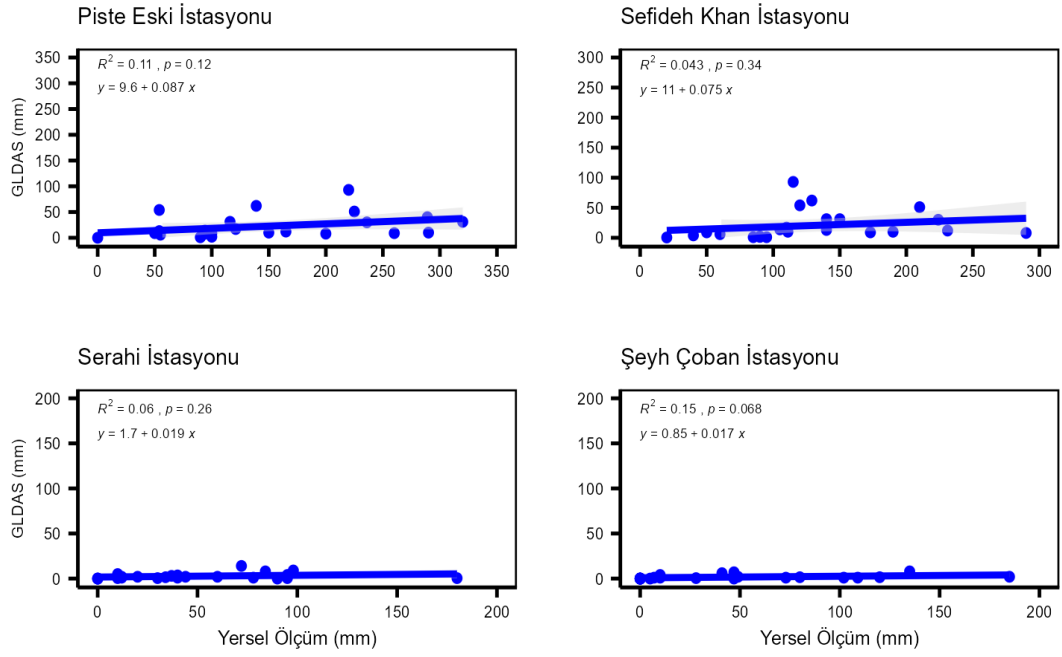
Şekil 4.8’de görsel olarak, ilk dikkat çeken nokta, ikinci periyotta (1999-2022) genel olarak KSE’nin düşük olmasıdır. Bu düşüş Mart ayında daha da dikkat çekicidir. Bu da iklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın etkilerinden kaynaklanan kar yağışında bir

kaymanın işaretlerini gösterebilir. İklim değişikliği, atmosferdeki bileşenlerin ve doğal süreçlerin değişmesiyle birlikte dünya genelinde iklim koşullarında uzun vadeli değişikliklere neden olur. Bu değişiklikler, yağış modelleri, sıcaklık değişiklikleri ve diğer hava olayları üzerinde etkili olabilir. Birinci periyotta, en yüksek kar su eşdeğeri miktarı Mart ayında gerçekleşmiştir. İkinci periyotta ise en yüksek KSE miktarı Şubat ayında gözlemlenmiştir. Bu ise iklim değişikliği nedeniyle kar yağışının miktarı ve dağılımında bir kaymanın olduğunu düşündürebilir. Özellikle, ikinci periyotta Mart ayında daha düşük kar su eşdeğeri miktarının gözlenmesi, iklim değişikliği sonucunda bu ayda daha az kar yağışı olduğunu veya yağışın farklı bir şekilde dağıldığını gösterebilir. Ancak, tek başına verilerin iklim değişikliğiyle ilişkili olduğunu kesin olarak söylemek zordur. İklim değişikliğinin etkileri, uzun vadeli ve geniş kapsamlı analizler gerektirir. Bu tür analizler, daha geniş veri setlerine, iklim modellerine ve istatistiksel yöntemlere dayanarak daha sağlam sonuçlar elde etmeyi mümkün kılar. Sonuç olarak, verilerdeki kar yağışı miktarında görülen farklılıklar, iklim değişikliğinin etkilerini düşündürebilir, ancak kesin bir değerlendirme yapabilmek için daha fazla bilgi ve analiz gerekmektedir.

4.3 GLDAS-2 KSE Verileriyle Saha Ölçüm Verilerinin Karşılaştırılması

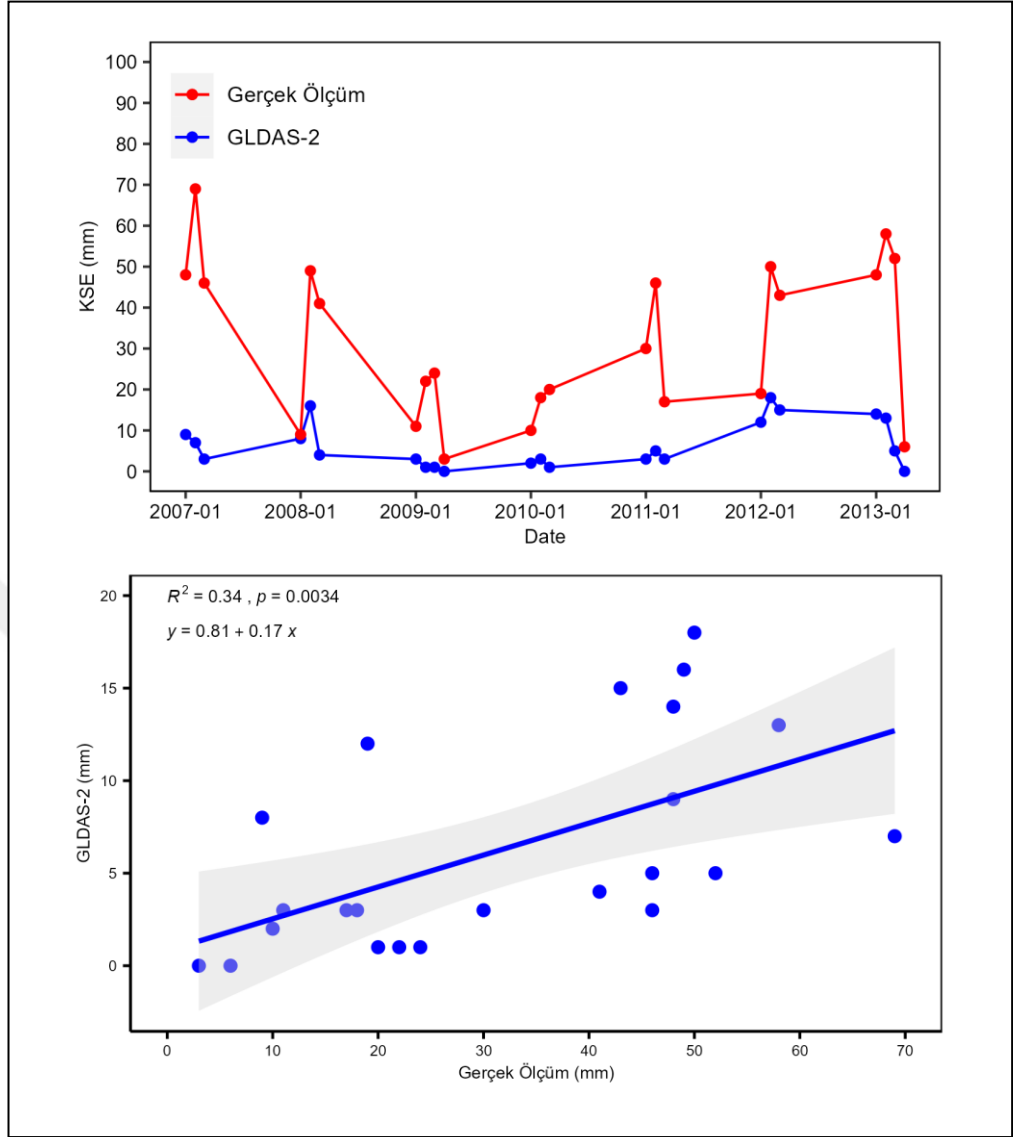
Bu bölümde GLDAS2'den elde edilen KSE verileri saha ölçüm verileri ile karşılaştırılarak GLDAS2 verilerinin genel performansı değerlendirilmiştir.

GLDAS2'den elde edilen KSE verileri, uygun yazılım aracılığıyla işlenerek 1985-2022 yılları arasında, Ocak-Şubat-Mart ayları ve bazı yıllarda Nisan ayında kar ölçüm istasyonlarında ölçülen ortalama KSE verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, GLDAS verilerinin doğruluğunu ve tahmin kabiliyetini ölçmek için 4 farklı istasyonda ve havza genelinde yapılmıştır. İstasyonlara ait karşılaştırma sonuçları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 GLDAS KSE verilerinin istasyonlardaki ölçüm verileri ile karşılaştırılması

Şekil 4.9'a ve değerlendirme metriklerine bakıldığında her 4 istasyonda da saha ölçümler ile GLDAS verileri arasında bir ilişki olmadığı görülmektedir. Şekil 4.10'da tüm havzada ölçüm KSE verileriyle GLDAS KSE verileri karşılaştırılmıştır ve sonuçlar çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Havza genelinde ölçüm ve GLDAS'dan elde edilen ortalama aylık KSE verilerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.7'de değişkenin P değeri 0.05 ve 0.01 değerinin altında olduğu için anlamlı bulunmuştur. Bu nedenle H_0 hipotezi %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilir ve GLDAS KSE verilerinin saha ölçüm verilerini tahmin etmek için kullanılabilmesine karar verilir.

Çizelge 4.7 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri

Modeldeki Bağımsız Değişken	Standartlaştırılmamış Katsayı B	Standart Hata	Standartlaştırılmış Katsayı β	t	Anlamlılık p
(Sabit)	19.5571	5.0483		3.874	0.000878 ***
GLDAS	1.9807	0.6004	0.58424	3.299	0.003418 **
Önemli kodlar: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Çizelge 4.8’de model özeti getirilmiştir. Modelde $R^2=0.34$ olarak hesaplanmıştır. Bu, gerçek KSE ölçümündeki değişimin %34’ünün GLDAS KSE verileri tarafından açıklandığını göstermektedir. Geriye kalan %66’lık kısım ise hata terimi aracılığıyla açıklanan kısımdır.

Çizelge 4.8 Model özeti

Determinasyon katsayısı (R^2)	Düzeltilmiş determinasyon katsayısı	Tahminin standart hatası-RSE	RMSE
0.3413	0.31	21 serbestlik derecesinde 15.88	15.17061

Çizelge 4.9’da Modelin hipotez testi sonuçları getirilmiştir. F istatistiği (10.88) kritik F değerinden (8.01) büyük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini reddeder ve GLDAS verilerinin gerçek verileri açıklayabileceği sonucuna varılır. p değeri ise çok küçük olduğundan, sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir.

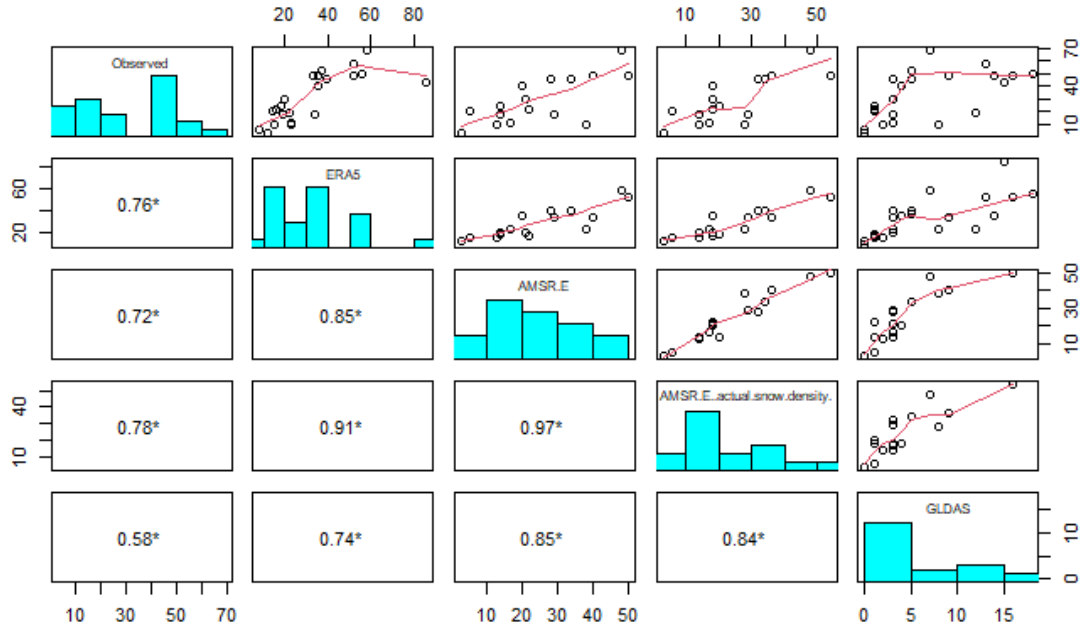
Çizelge 4.9 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)

F-istatistiği	1 ve 21 serbestlik derecesinde 10.88
Kritik F değeri (0.05 anlamlılık düzeyinde)	4.324794
Kritik F değeri (0.01 anlamlılık düzeyinde)	8.016597

Şekil 4.11’de ve Çizelge 4.10’da ERA5, GLDAS, AMSR-E KSE verilerinin genel performansı ve korelasyon katsayıları gösterilmiştir. Değerlendirme metrikleri dikkate alınarak ölçüm verilerle en iyi uyumda olan ve en iyi performans gösteren KSE verileri seçilmiştir. Sonuçlara göre ERA5 KSE verileri diğer uzaktan algılama verilerine göre daha iyi performans göstermiştir ve tezin bu aşamasından sonra ERA5 KSE verileri esas alınarak hem trend analizi için hem de havzada KSE’nin diğer hidroiklim verilerle ilişkisini ortaya koymak için kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.10 ERA5, GLDAS, AMSR-E’nin saha ölçüm verilerle karşılaştırılmasındaki değerlendirme metriklerinin sonucu

	R ²	R	RMSE
ERA5	0.5801	0.76	12.11211
AMSR-E	0.5124	0.72	12.6662
GLDAS	0.3413	0.58	15.17061



Şekil 4.11 ERA5, GLDAS, AMSR-E ve ölçüm verileri arasında korelasyon analizi sonucu

Şekilde de görüldüğü gibi ERA5 KSE verileri 0.76 korelasyon değeri ile en iyi performansı göstermiştir ve bunu AMSR-E verileri (R= 0.72) ve GLDAS verileri (R= 0.56) takip etmektedir.

4.4 Hidroiklim Parametreler İçin Eğilim Çizgilerinin Belirlenmesi ve Mann-Kendall Trend Analizi Sonuçları

Trend analizinden önce hidroiklim parametrelerin yıllara göre değişimi gözlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla grafikler oluşturulmuştur. Daha sonra Bölüm 3.6.1’de anlatılan işlemler uygulanarak 6 hidroiklim parametresi için Kendall Tau ve buna karşılık gelen Z ve p değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan S_{MK} (Mann- Kendall test istatistiği), Z_{MK} (Test istatistiği), p_{MK} (Olasılık değeri) değerleri Çizelge 4.11 ve 4.12’de listelenmiştir.

Çizelge 4.11 Hidroiklim veriler için Mann-Kendall trend sonuçları

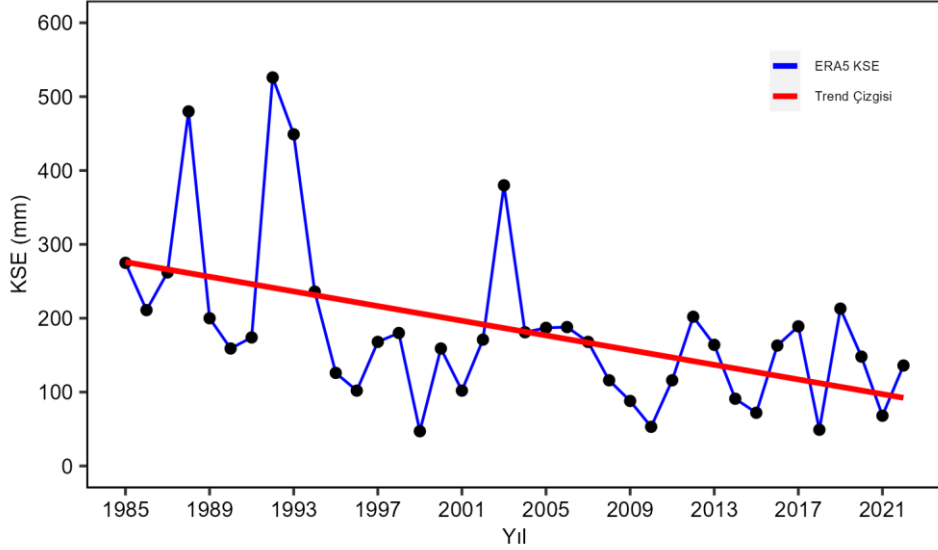
Metot	Parametre	KSE	Yağış	Yağış+KSE
Mann-Kendall	S_{MK}	-245	250	-128
	Z_{MK}	-3.0685	0.31392	-1.661
	P_{MK}	0.00215	0.7536	0.0967
	Var S	6323	5845	5846
	Tau- τ	-0.3495	0.375	-0.1922

Çizelge 4.12 Hidroiklim veriler için Mann-Kendall trend sonuçları

Metot	Parametre	Göl seviyesi	Göle boşalım miktarı	Tarımda kullanılan su miktarı
Mann-Kendall	S_{MK}	-458	-227	357
	Z_{MK}	-5.977	-3.2095	5.056
	P_{MK}	2.272e-09	0.00133	4.288e-07
	Var S	5846	4958.33	4958.33
	Tau- τ	-0.6877	-0.3815	0.600

4.4.1 KSE için eğilim çizgisi ve Mann-Kendall analizi sonuçları

KSE için 1985-2022 yılları arasında eğim çizgisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

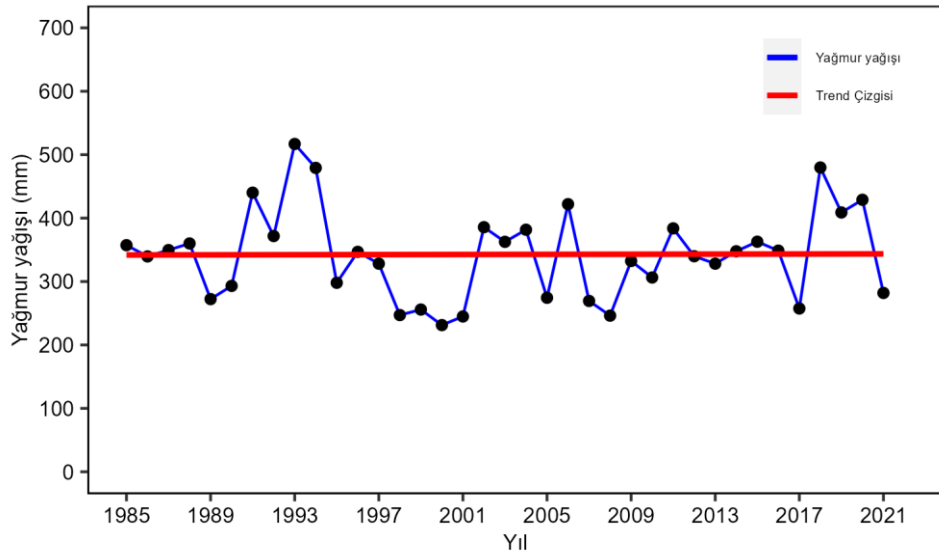


Şekil 4.12 KSE için 1985-2022 yılları arasında eğim çizgisi

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi havzada KSE miktarında önemli bir düşüş bulunmaktadır. KSE zaman serisi analizinde, Z değerinin mutlak değeri $|-3.0685|$ hesaplanmıştır. Bu değer, seçilen anlamlılık düzeyi ($\alpha=0.05$) için standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 1.96$ değerinden büyük olduğu için sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" reddedilmiştir. Seçilen anlamlılık düzeyi $\alpha=0.01$ olarak kabul edildiğinde ise, hesaplanan Z değeri standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 2.58$ değerinden büyük olduğu için ($-3.0685 > 2.58$), sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" yine reddedilmiştir. Bu sonuç, azalan bir trendin varlığına işaret etmektedir.

4.4.2 Yağmur yağışı için uzun vadeli Mann-Kendall analizi sonuçları

Yağmur için uzun vadeli eğim çizgisi Şekil 4.13’te gösterilmiştir.

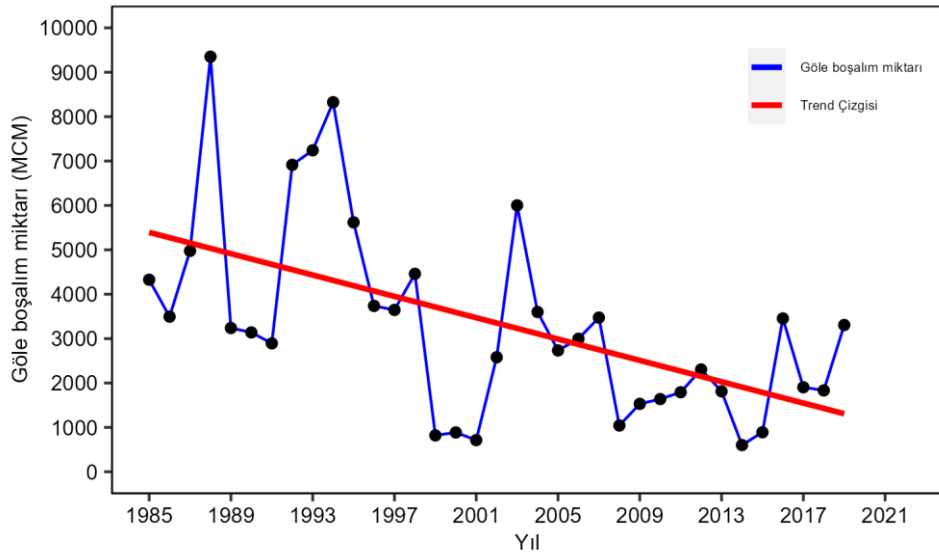


Şekil 4.13 Yağmur için uzun vadeli eğim çizgisi

Şekil 4.13'e bakıldığında havzada uzun vadeli yağmur miktarında kaydadeğer bir düşüş veya artış gözükmemektedir. Yağmur zaman serisi analizinde, Z değerinin mutlak değeri $|0.31392|$ hesaplanmıştır. Bu değer, seçilen anlamlılık düzeyi ($\alpha=0.05$) için standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 1.96$ değerinden küçük olduğu için sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" kabul edilmiştir ve incelenen zaman serisinde trend yok sonucuna varılmıştır. Seçilen anlamlılık düzeyi $\alpha=0.01$ olarak kabul edildiğinde de, hesaplanan Z değeri standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 2.58$ değerinden küçük olduğu için ($0.31392 > 2.58$), sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" kabul edilmiştir.

4.4.3 Göle boşalım miktarının uzun vadede eğilimi

Göle boşalım miktarının uzun vadeli eğim çizgisi Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

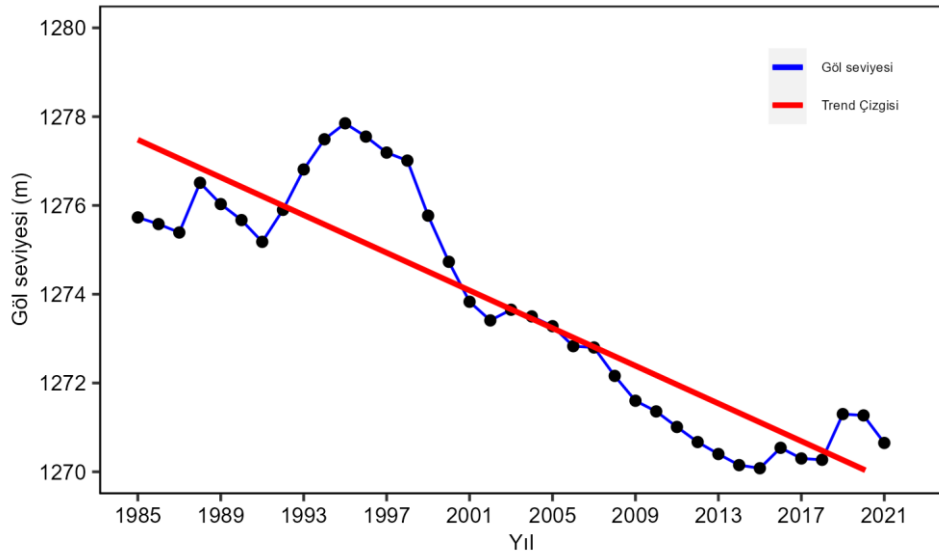


Şekil 4.14 Göle boşalım miktarının uzun vadeli eğim çizgisi

Şekil 4.14'e bakıldığında son 37 yılda KSE miktarında olduğu gibi göle boşalım miktarında da önemli derecede bir düşüş söz konusudur. Göle boşalım miktarı zaman serisi analizinde, Z değerinin mutlak değeri $|-3.2095|$ hesaplanmıştır. Bu değer, seçilen anlamlılık düzeyi ($\alpha=0.05$) için standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 1.96$ değerinden büyük olduğu için sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" reddedilmiştir. seçilen anlamlılık düzeyi $\alpha=0.01$ olarak kabul edildiğinde ise, hesaplanan Z değeri standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 2.58$ değerinden büyük olduğu için ($-3.2095 > 2.58$), sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" yine reddedilmiştir. Bu sonuç, azalan bir trendin varlığına işaret etmektedir.

4.4.4 Göl seviyesinin uzun vadede değişimi

Göl seviyesinin uzun vadeli eğim çizgisi Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

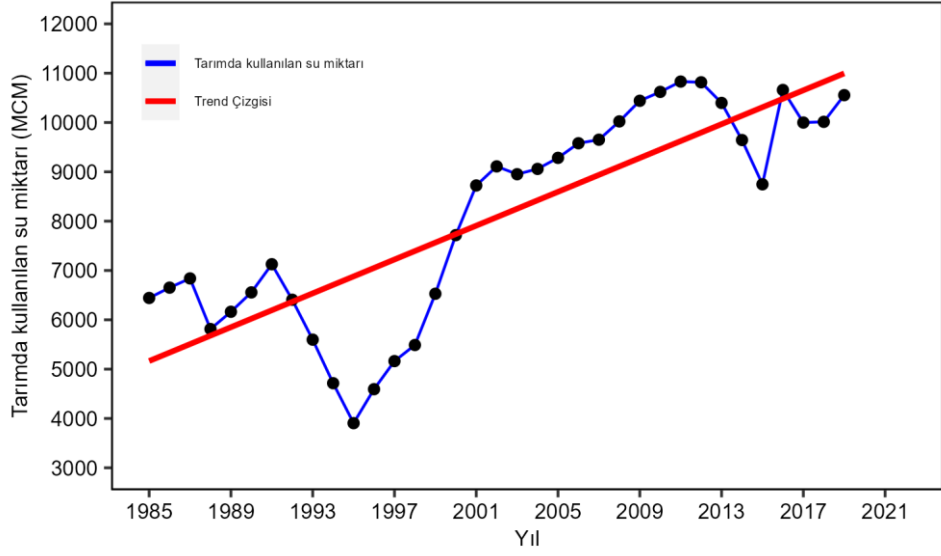


Şekil 4.15 Göl seviyesinin uzun vadeli eğim çizgisi

Şekil 4.15'e bakıldığında son 37 yılda KSE ve göle boşalım miktarında olduğu gibi Göl seviyesinde de önemli derecede bir düşüş söz konusudur. Göl seviyesi zaman serisi analizinde, Z değerinin mutlak değeri $|-5.977|$ hesaplanmıştır. Bu değer, seçilen anlamlılık düzeyi ($\alpha=0.05$) için standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 1.96$ değerinden büyük olduğu için sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" reddedilmiştir. Seçilen anlamlılık düzeyi $\alpha=0.01$ olarak kabul edildiğinde ise, hesaplanan Z değeri standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 2.58$ değerinden büyük olduğu için ($-5.977 > 2.58$), sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" yine reddedilmiştir. Bu sonuç, azalan bir trendin varlığına işaret etmektedir.

4.4.5 Tarımda kullanılan su miktarının uzun vadede değişimi

Tarımda kullanılan su miktarının uzun vadeli eğim çizgisi Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



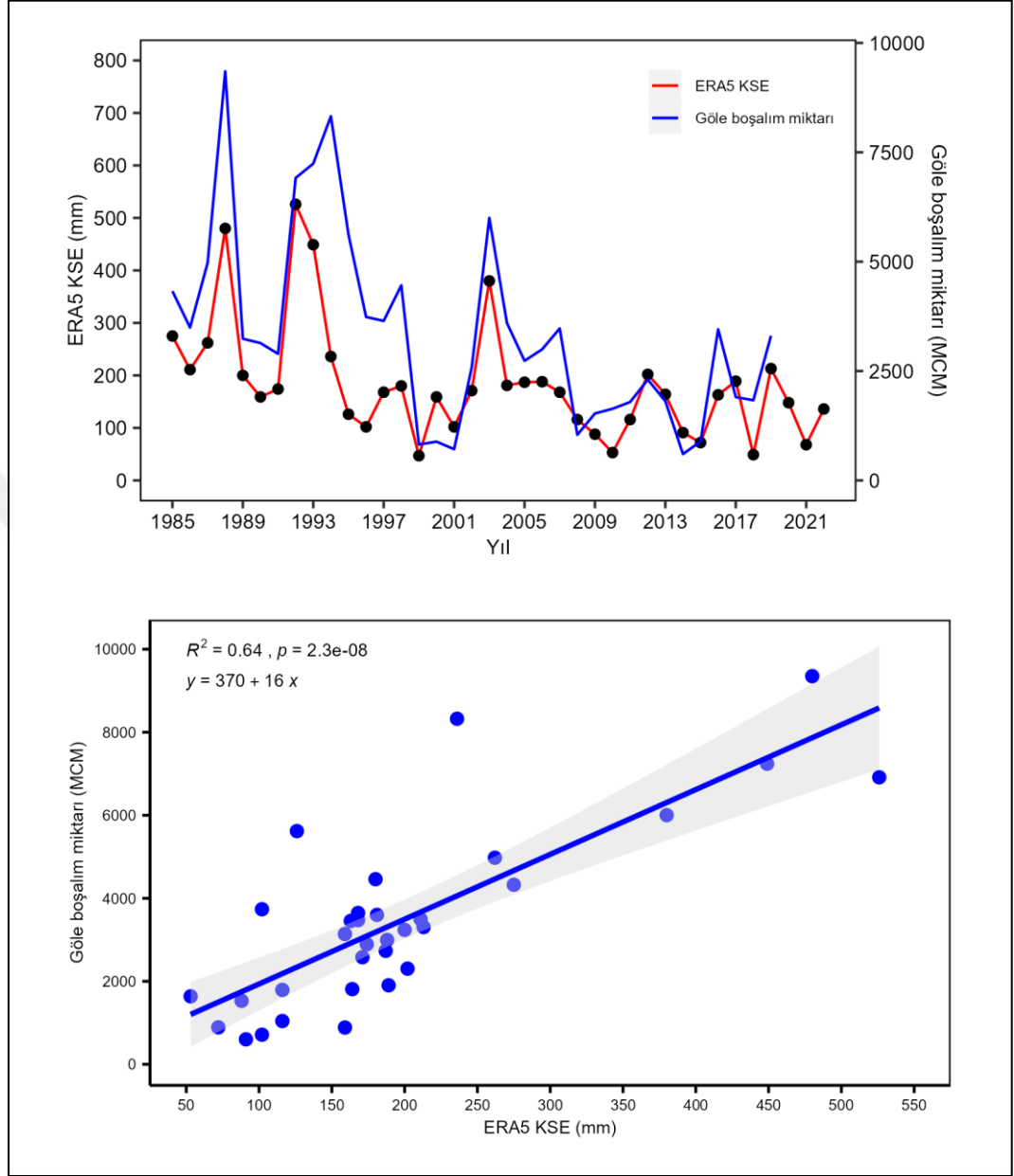
Şekil 4.16 Tarımda kullanılan su miktarının uzun vadeli eğim çizgisi

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi son 37 yılda Kar yağışı miktarındaki düşüş ve havzada yaşanan kuraklığa rağmen tarımda kullanılan su miktarında önemli bir artış söz konusudur. Tarımda kullanılan su miktarı zaman serisi analizinde, Z değerinin mutlak değeri $|5.0557|$ hesaplanmıştır. Bu değer, seçilen anlamlılık düzeyi ($\alpha=0.05$) için standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 1.96$ değerinden büyük olduğu için sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" reddedilmiştir. Seçilen anlamlılık düzeyi $\alpha=0.01$ olarak kabul edildiğinde ise, hesaplanan Z değeri standart normal dağılımın $Z_{\alpha/2} = 2.58$ değerinden büyük olduğu için ($5.0557 > 2.58$), sıfır hipotezi " H_0 : trend yok" yine reddedilmiştir. Bu sonuç, azalan bir trendin varlığına işaret etmektedir.

4.5 Basit Doğrusal Regresyon Modeli İle KSE ve Diğer Hidroiklim Parametrelerin Göle Boşalım Miktarına ve Göl Seviyesine Olan Katkısını Belirlemek

4.5.1 KSE’nin göle boşalım miktarına katkısı

Şekil 4.17’de 1985-2022 yılları arasında havzada KSE ve Göle boşalım miktarının ilişkisi gösterilmiştir ve sonuçlar Çizelge 4.13, 4.14 ve 4.15’te açıklanmıştır.



Şekil 4.17 1985-2022 yılları arasında havzada KSE ve Göle boşalım miktarının ilişkisi

Çizelge 4.13'te modelin sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.13'te değişkenin P değeri 0.05 değerinin altında olduğu için anlamlı bulunmuştur. Bu sebeple H_0 hipotezi %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilmekte ve bağımsız değişkenin Göle boşalım miktarını tahmin etmek için kullanılabileceğine karar verilir.

Çizelge 4.13 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri

Modeldeki Bağımsız Değişken	Standartlaştırılmamış Katsayı B	Standart Hata	Standartlaştırılmış Katsayı β	t	Anlamlılık p
(Sabit)	409.875	429.661		0.954	0.347
KSE	15.485	1.945	0.810864 7	7.959	3.52e-09 ***
Önemli kodlar: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Modelde, KSE değişkeni için katsayı 15.485 olarak hesaplanmıştır. Bu ise bu değişkenin, bağımlı değişken üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. KSE her bir birimlik artışta, Göle boşalım miktarı ortalama olarak 15.485 birim artmaktadır.

Çizelge 4.14'te model özeti gösterilmiştir. Burada $R^2=0.66$ hesaplanmıştır. Bu, Göle boşalım miktarındaki değişimin %66'nın KSE tarafından açıklandığını göstermektedir. Geri kalan %34'lük kısım ise modele dahil edilmeyen değişkenler (Yağmur yağışı, tarımda kullanılan su, buharlaşma vs.) tarafından hata terimi aracılığıyla açıklanan kısımdır.

Çizelge 4.14 Model özeti

Determinasyon katsayısı (R^2)	Düzeltilmiş determinasyon katsayısı	Tahminin standart hatası-RSE	RMSE
0.6575	0.6471	33 serbestlik derecesinde 1297 (veri eksikliği nedeniyle 3 gözlem silinmiştir)	1259.864

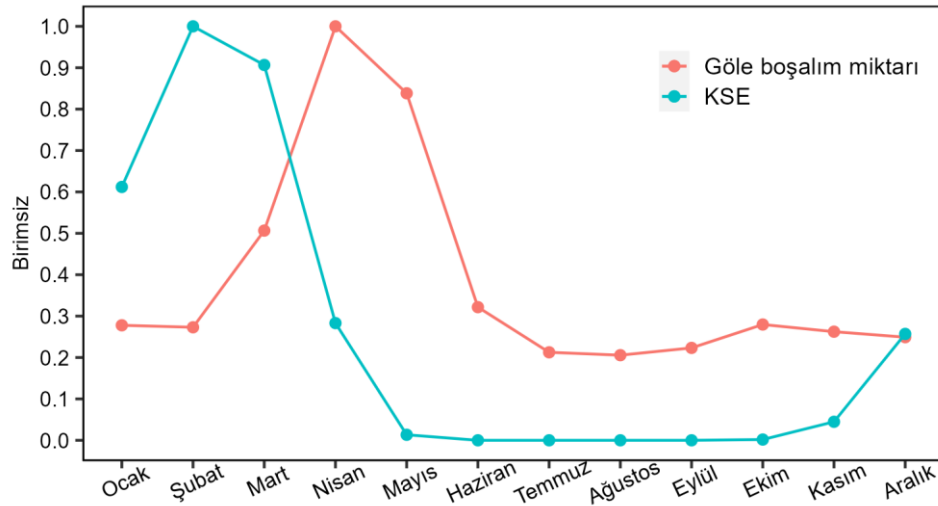
Çizelge 4.15'de modelin hipotez testi sonuçları getirilmiştir. F-istatistiğinin belirli bir anlamlılık düzeyinde Kritik F değerinden yüksek olması, modelin genel olarak anlamlı olduğu ve bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişkenliği açıklama gücünün

istatistiksel olarak anlamlı veya anlamsız olduğunu belirler. Burada F-istatistiği 289'dur ve 1 ve 33 serbestlik derecesine (serbestlik derecesinde) sahiptir. p değeri ise $2e-16$ 'dır. Bu durumda, anlamlılık düzeyi %99 için kritik F değeri serbestlik dereceleri 1 ve 33 için 7.47'dir. F istatistiği (63.35) kritik F değerinden (7.47) çok daha büyük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini kesinlikle reddeder ve bağımsız değişkenin modelde anlamlı olduğu sonucuna varılır. p değeri ise çok küçük olduğundan, sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.15 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)

F-istatistiği	1 ve 33 serbestlik derecesinde 63.35
Kritik F değeri (0.05 anlamlılık düzeyinde)	4.139252
Kritik F değeri (0.01 anlamlılık düzeyinde)	7.470801

Şekil 4.18'de KSE ve Göle boşalım miktarı arasındaki ilişki aylar bazında incelenmeye çalışıldı.



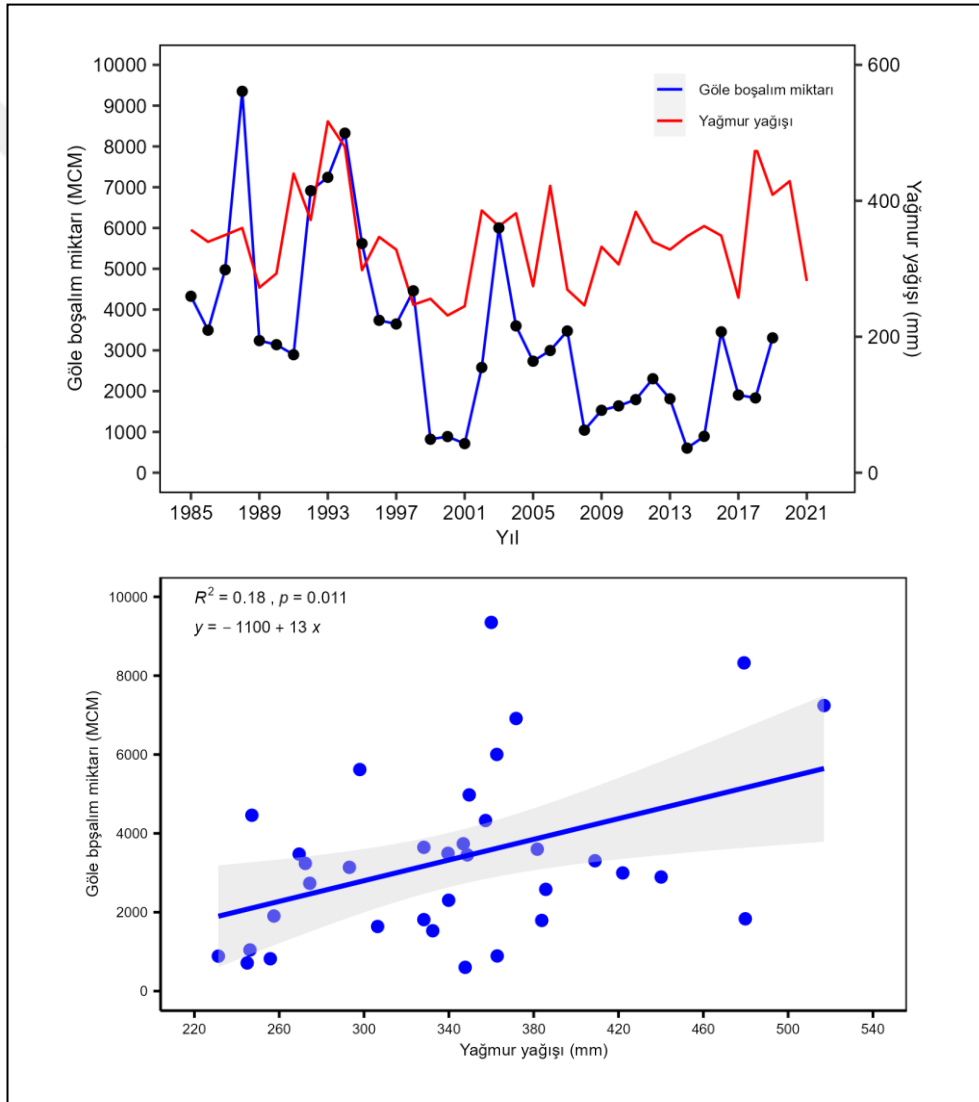
Şekil 4.18 Aylar bazında KSE ve Göle boşalım miktarı arasındaki ilişki

Şekilde de görüldüğü gibi bu iki değişken arasında anlamlı bir ilişki gözlemlenmektedir. Grafiğe bakıldığında en fazla KSE elde edilen aylar Ocak, Şubat ve Mart aylarıdır. En

fazla Göle boşalım miktarı ise karların erime dönemi yani Mart, Nisan ve Mayıs aylarında gerçekleşmiştir. En düşük Göle boşalım miktarı ise karın yağmadığı aylara aittir.

4.5.2 Yağışın göle boşalım miktarına katkısı

Şekil 4.19’da 1985-2020 yılları arasında havzada yağmur yağışının ve Göle boşalım miktarının ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.19 1985-2020 yılları arasında havzada yağmur yağışı ve Göle boşalım miktarının ilişkisi

Çizelge 4.16’da modelin sonuçları verilmiştir. Burada bağımsız değişkenin P değeri 0.05 değerinin altında olduğu için anlamlı bulunmuştur. Bu yüzden H_0 hipotezi %5 anlamlılık düzeyinde reddedilmekte ve yağmur yağışının Göle boşalım miktarını tahmin etmek için kullanılabileceğine karar verilmekte.

Çizelge 4.16 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, t istatistiği ve p değeri

Modeldeki Bağımsız Değişken	Standartlaştırılmamış Katsayı B	Standart Hata	Standartlaştırılmış Katsayı β	t	Anlamlılık p
(Sabit)	-1136.045	1688.522		-0.673	0.5058
Yağmur yağışı	13.119	4.837	0.426959	2.712	0.0105 *
Önemli kodlar: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1					

Modelde, Yağmur yağışı değişkeni için katsayı 13.119 olarak hesaplanmıştır. Bu da bu değişkenin, bağımlı değişken üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yağmur yağışı her bir birimlik artışta, Göle boşalım miktarı ortalama olarak 13.119 birim artmaktadır.

Çizelge 4.17’de model özeti getirilmiştir. Burada $R^2=0.18$ olarak hesaplanmıştır. Bu, Göle boşalım miktarındaki değişimin %18’inin yağmur yağışı tarafından açıklandığını göstermektedir. Geri kalan %82’lik kısım ise modele dahil edilmeyen değişkenler (KSE, tarımda kullanılan su, buharlaşma vs.) tarafından hata terimi aracılığıyla açıklanan kısımdır.

Çizelge 4.17 Model özeti

determinasyon katsayısı (R^2)	düzeltilmiş determinasyon katsayısı	Tahminin standart hatası-RSE	RMSE
0.1823	0.1575	33 serbestlik derecesinde 2005 (veri eksikliği nedeniyle 3 gözlem silinmiştir)	1946.673

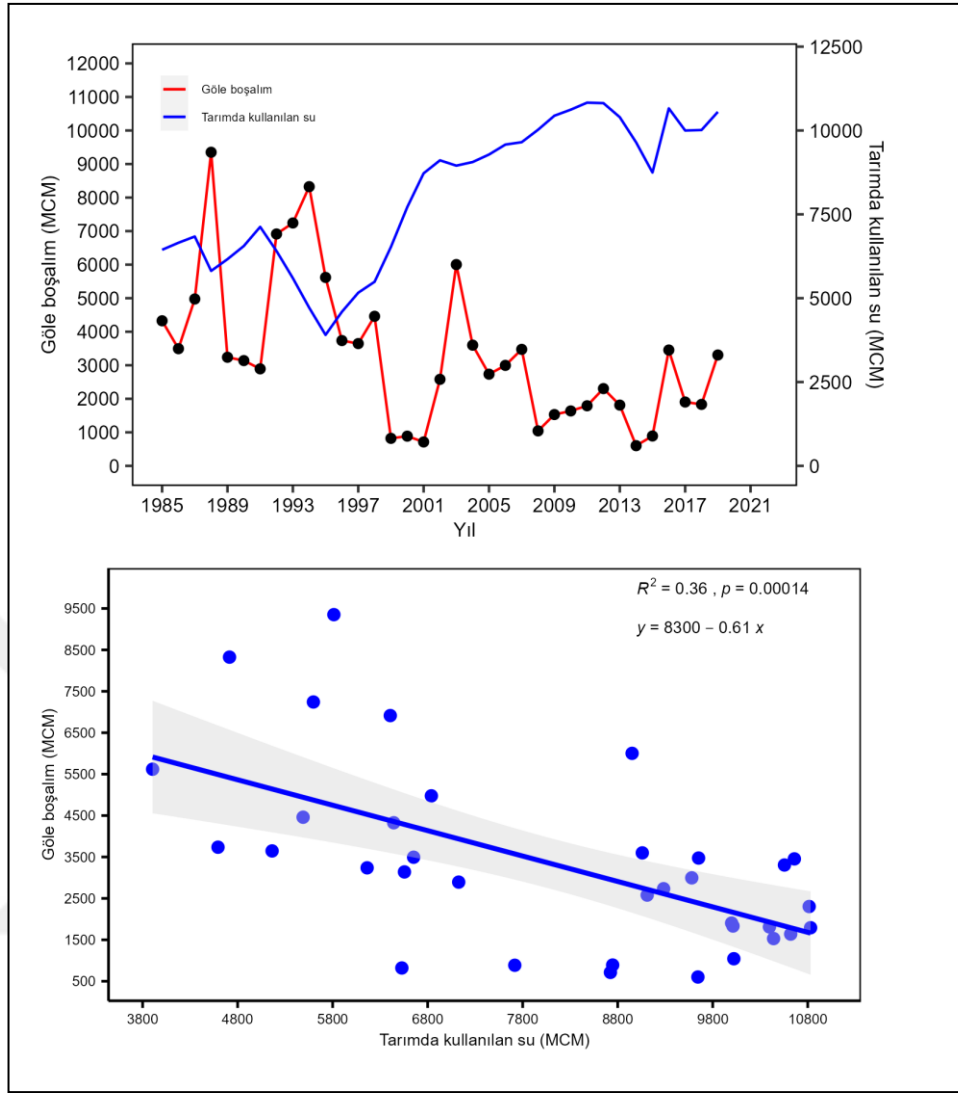
Çizelge 4.18’de modelin hipotez testi sonuçları getirilmiştir. F istatistiği (7.36) kritik F değerinden (4.14) büyük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini reddeder ve bağımsız değişkenin modelde az da olsa anlamlı olduğu sonucuna varılır. Ancak anlamlılık düzeyi %99 için kritik F değeri serbestlik dereceleri 1 ve 33 için 7.47’dir ve F istatistiği (7.36) kritik F değerinden (7.47) küçük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini kabuleder ve bağımsız değişkenin modelde anlamlı olmadığı sonucuna varılır. p değeri ise 0.05 anlamlılık düzeyinden küçük ve 0.01 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu için sonucun istatistiksel olarak 0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı olmadığı söylenebilir.

Çizelge 4.18 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)

F-istatistiği	1 ve 33 serbestlik derecesinde 7.357
Kritik F değeri (0.05 anlamlılık düzeyinde)	4.139252
Kritik F değeri (0.01 anlamlılık düzeyinde)	7.470801

4.5.3 Tarımda kullanılan su miktarının göle boşalım miktarındaki katkısı

Şekil 4.20’de 1985-2019 yılları arasında havzada genelinde tarımda kullanılan su ve Göle boşalım miktarının ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.20 1985-2019 yılları arasında havzada tarımda kullanılan su ve Göle boşalım miktarının ilişkisi

Çizelge 4.19’da model sonuçları verilmiştir. Burada değişkenin P değeri 0.01 değerinin altında olduğu için anlamlı bulunmuştur. Bu sebeple H_0 hipotezi %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilmekte ve tarımda kullanılan su miktarının Göle boşalım miktarını tahmin etmek için kullanılabileceğine karar verilir.

Çizelge 4.19 Modelde yer alan bağımsız değişkenin kısmi regresyon katsayısı, *t* istatistiği ve *p* değeri

Modeldeki Bağımsız Değişken	Standartlaştırılmamış Katsayı B	Standart Hata	Standartlaştırılmış Katsayı β	t	Anlamlılık p
(Sabit)	8310.1809	1191.75		6.973	0.0000000568***
Tarımda kullanılan su	-0.6138	0.1427	-0.59925	-4.300	0.000143 ***
Önemli kodlar: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Modelde, Tarımda kullanılan su değişkeni için katsayı -0.6138 olarak hesaplanmıştır. Bu da bu değişkenin, bağımlı değişken üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tarımda kullanılan su miktarı her bir birimlik artışta, Göle boşalım miktarı ortalama olarak -0.6138 birim azalmaktadır.

Çizelge 4.20'de model özeti görülmektedir. Burada $R^2=0.36$ hesaplanmıştır. Bu, Göle boşalım miktarındaki değişimin %36'sının modelde yer alan değişken tarafından açıklandığını göstermektedir. Geriye kalan %64'lük kısım ise modele dahil edilmeyen değişkenler (KSE, Yağmur yağı, buharlaşma vs.) tarafından açıklanan kısımdır.

Çizelge 4.20 Model özeti

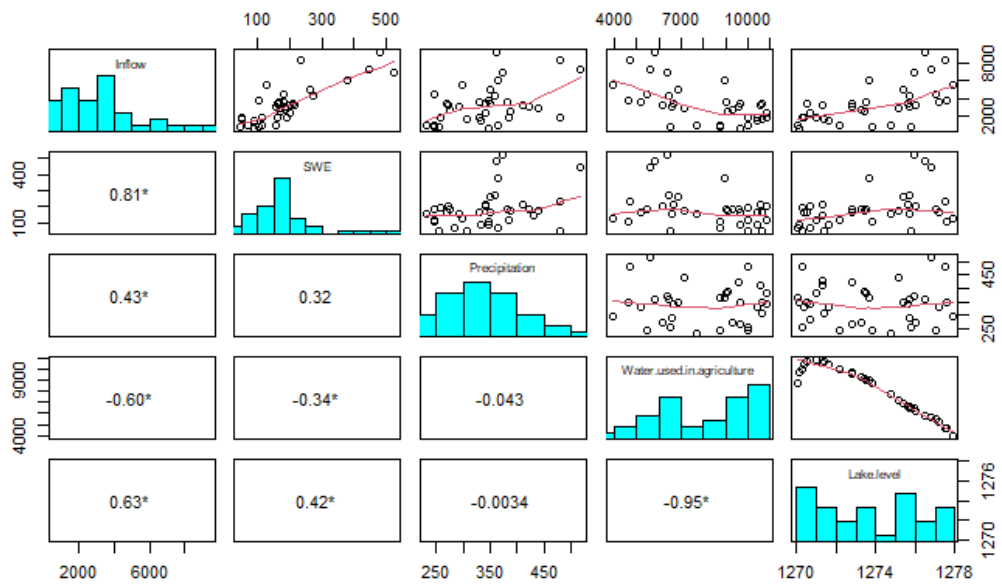
Determinasyon katsayısı (R^2)	Düzeltilmiş determinasyon katsayısı	Tahminin standart hatası-RSE	RMSE
0.3591	0.3397	1775 on 33 serbestlik derecesinde (veri eksikliği nedeniyle 3 gözlem silinmiştir)	1723.41

Çizelge 4.21'de modelin hipotez testi sonuçları getirilmiştir. F istatistiği (18.49) kritik F değerinden (7.47) büyük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini reddeder ve bağımsız değişkenin modelde anlamlı olduğu sonucuna varılır. *p* değeri ise 0.05 ve 0.01'den küçük olduğundan, sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.21 Hipotez testi sonuçları (F istatistiği ve Kritik F değeri)

F-istatistiği	1 ve 33 serbestlik derecesinde 18.49
Kritik F değeri (0.05 anlamlılık düzeyinde)	4.139252
Kritik F değeri (0.01 anlamlılık düzeyinde)	7.470801

Şekil 4.21’de Tüm hidroiklim parametreler arasındaki korelasyon ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.21 Hidroiklim parametreler arasındaki korelasyon ilişkisi

Şekillerde de görüldüğü gibi göle boşalım miktarını 0.81 korelasyon katsayısı ile en fazla etkileyen parametre KSE olmuştur. Göle boşalım miktarını etkileyen ikinci önemli parametre ise tarımda kullanılan su miktarı olarak bulunmuştur. Tarımda kullanılan su miktarı -0.60 korelasyon değeri ile göle boşalım miktarını negatif yönde etkilemektedir. Göle boşalım miktarını en az etkileyen parametre ise yağmur olarak görünmektedir. Yağmur yağışı 0.43 korelasyon değeri ile KSE ve tarımda kullanılan su miktarı'nı takip etmektedir.

4.6 Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli kullanılarak Göle Boşalım Miktarını Etkileyen KSE ve Diğer Hidroiklim Parametrelerin Belirlenmesi

Bu çalışmada, göle akış miktarını etkileyen değişkenler bir arada ele alınarak çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon katsayıları hesaplanmış ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların istatistiksel anlamlılıkları F testi ile sınıanmıştır.

Çizelge 4.22’de modelde kullandığımız bağımsız değişkenlerin kısmi regresyon katsayıları, standartlaştırılmış beta değerleri, t istatistikleri ve p değerleri getirilmiştir. Çizelge 4.22’de her değişkenin p değeri 0.05 değerinin altında olduğu için anlamlı bulunmuştur. Bu sebeple H_0 hipotezi %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilmekte ve tüm bağımsız değişkenlerin Göle boşalım miktarını tahmin etmek için kullanılabilceğine karar verilmektedir.

Çizelge 4.22’de standartlaştırılmış β katsayıları bağımsız değişkenlerin modeldeki önem sırasını göstermektedir (Kalaycı, 2010). Burada KSE değişkeni en yüksek standartlaştırılmış β mutlak değerine sahiptir. Bu modelde sırası ile en önemli değişkenlerin KSE, Tarımda kullanılan su, Yağmur olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.22 Çoklu doğrusal regresyon modelinde kullanılan bağımsız değişkenlerin kısmi regresyon katsayıları, t istatistiği ve p değerleri

Modeldeki Değişkenler	Standartlaştırılmamış Katsayılar B	Standart Hata	Standartlaştırılmış Katsayılar β	t	Anlamlılık p
(Sabit)	2084.50417	1090.90186		3.781	0.000669 ***
KSE	11.71547	1.64359	0.6134896	7.128	5.15e-08 ***
Yağmur	6.49843	2.49135	0.2117032	2.608	0.013724 *
Tarımda kullanılan su	-0.39373	0.08349	-0.3844032	-4.716	4.83e-05 ***
Önemli kodlar: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1					

Regresyon katsayılarını temsil eden standartlaştırılmamış B katsayıları, doğrusal denklemi oluşturmak için kullanılır ve bu denklem bağımlı değişkeni açıklamaktadır.

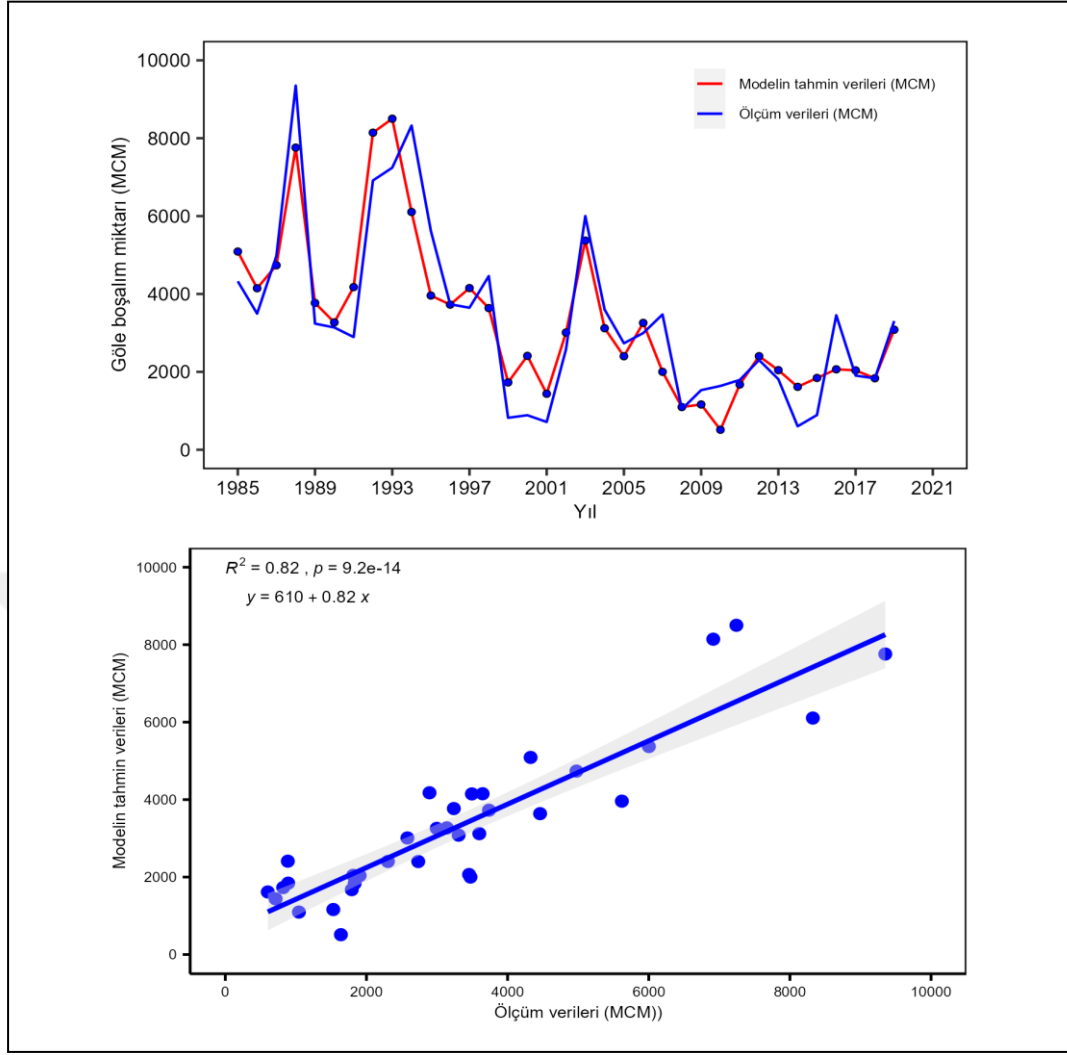
Bu modelde denklem şu şekildedir:

$$Y = 2084.50417 + 11.71547 X_1 + 6.49843 X_2 - 0.39373 X_3 \quad (19)$$

Burada Y bağımlı değişken olarak Göle boşalım miktarıdır. X_1 KSE, X_2 Yağmur yağışı ve X_3 ise Tarımda kullanılan su miktarıdır.

Modelde KSE için katsayı 11.71 olarak hesaplanmıştır. Bu da KSE'nin, bağımlı değişken üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Her bir birimlik artışta, Göle boşalım miktarı ortalama olarak 11.71 birim artar. Yağmur yağışı için katsayı 6.49 olarak hesaplanmıştır. Yağmur yağışı da bağımlı değişken üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir ve her bir birimlik artışta, Göle boşalım miktarı ortalama olarak 6.49 birim artmaktadır. Tarımda kullanılan su ise bağımlı değişken üzerinde negatif bir etkiye sahiptir ve her bir birimlik artışta, Göle boşalım miktarı ortalama olarak -0.39373 birim azalır.

Şekil 4.22, çoklu doğrusal regresyon modelinde tahmin edilen verilerle gerçek veriler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.22 Çoklu doğrusal regresyon modelinde tahmin edilen verilerle gerçek veriler arasındaki ilişki

Çizelge 4.23'te model özeti getirilmiştir. Modelde $R^2=0.82$ olarak hesaplanmıştır. Bu, Göle boşalım miktarının'daki değişimin %82'sinin modelde yer alan değişkenler (KSE, yağmur yağışı ve tarımda kullanılan su miktarı) tarafından açıklandığını göstermektedir. Geri kalan %18'lik kısım ise modele dahil edilmeyen değişkenler (buharlaşma, içme suyu vs.) tarafından hata terimi aracılığıyla açıklanan kısımdır.

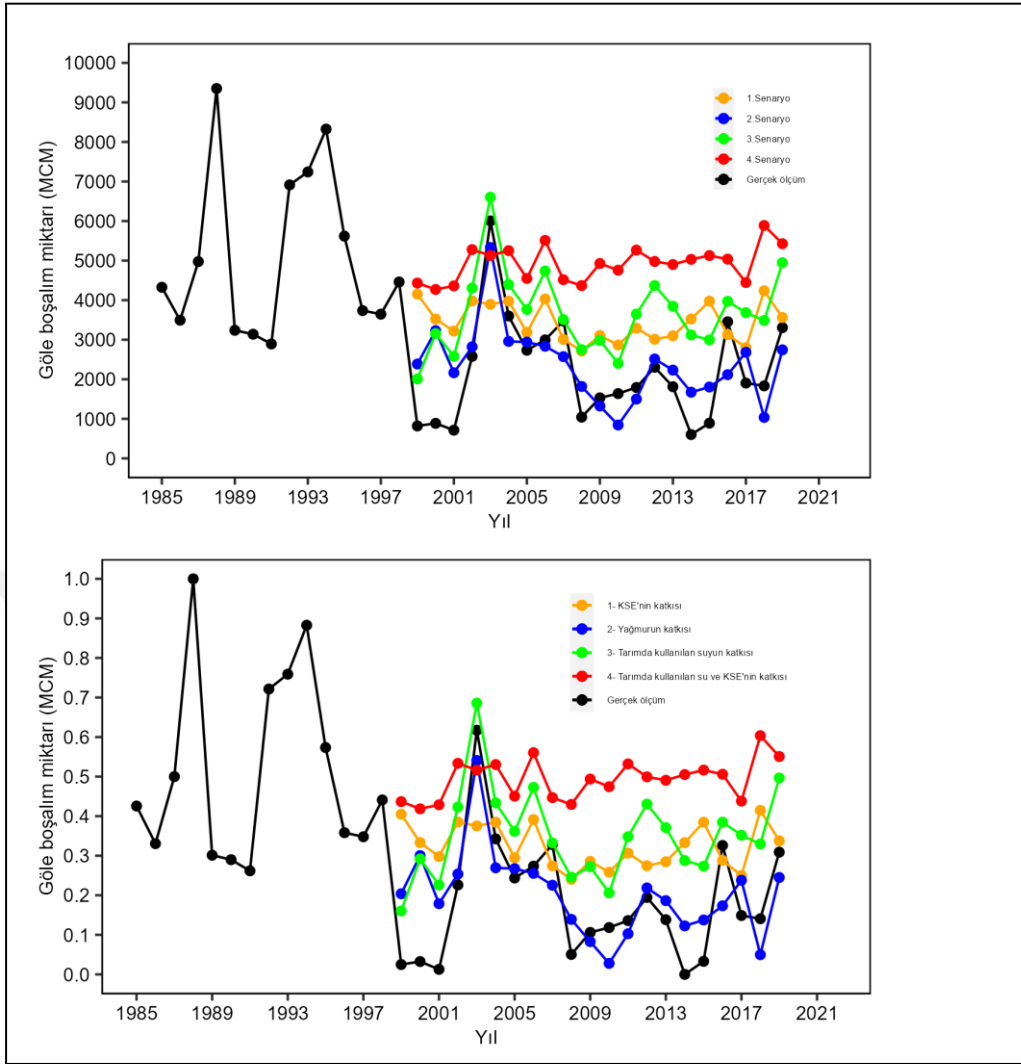
Çizelge 4.23 Çoklu doğrusal regresyon modelinin özeti

Determinasyon katsayı (R^2)	Düzeltilmiş determinasyon katsayı	Tahminin standart hatası-RSE	RMSE
0.8182	0.8006	31 serbestlik derecesinde 975.4	918.0066

Tahminin standart hatası (RMSE), çoklu doğrusal regresyon modellerinde, modelin hata terimlerinin standart sapmasıdır. Bu değer, modelin gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkların ne kadar değişken olduğunu gösterir ve modelin performansını değerlendirmede kullanılmaktadır. Veri setinin değişim aralığına bağlı olarak küçük bir RMSE değeri, modelin, verileri ne kadar iyi açıkladığını gösterirken, büyük bir değer modelin doğruluğunun azaldığını işaret eder. Bu modelde kullanılan gerçek değerlerin değişim aralığını (1000-11000) göz önünde bulundurduğumuzda modeldeki RMSE değerinin kabuledilebilir bir değer olduğu söylenebilir.

Modelin F-istatistiği 3 ve 31 serbestlik derecesinde 46.49 ve p değeri $1.389e-11$ 'dir. F-istatistiğinin yüksek ve p-değeri çok düşük olduğu için, modelin genel olarak anlamlı olduğu ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişkenliği açıklama gücünün istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir. F istatistiği (46.53) kritik F değerinden (3.20) çok daha büyük olduğu için, bu sonuç H_0 hipotezini kesinlikle reddeder ve en az bir bağımsız değişkenin modelde anlamlı olduğu sonucuna varılır. p değeri $1.389e-11$ (0.0000000001389) olduğu için, hipotez testi sonucu anlamlıdır ve modeldeki bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama gücünün tesadüfen olmadığına dair güçlü bir kanıt vardır. Bu sonuçlar, modelin iyi uyum sağladığını göstermektedir.

Son olarak modelin çıktılarına dayanarak farklı senaryolar kurmaya ve bu senaryolara göre Göle boşalım miktarındaki olası değişimleri incelenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.23'te 4 farklı senaryonun sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.23 Farklı senaryoların sonuçları

Şekilde de görüldüğü gibi modelin çıktılarına dayanarak 4 farklı senaryo kurmaya çalıştık. Birinci senaryoda 1999-2019 yılları arasındaki KSE (X_1) verileri 1999 yılından önceki yılların KSE ortalamasına sabitlemiştir. Bu ortalama 264.57 mm olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoya göre eğer KSE’de azalma olmasaydı ve havzadaki KSE, 1999 yılından önceki yılların ortalaması kadar olsaydı göle boşalım miktarında ortalama 1610 MCM artış beklenebilirdi. İkinci senaryoda 1999-2019 yılları arasındaki yağmur yağışı (X_2) verileri 1999 yılından önceki yılların yağmur ortalamasına sabitlemiştir. Bu senaryoya göre eğer yağmur yağışı 1999 yılından önceki yılların ortalaması gibi devam etseydi göle boşalım miktarında önemli bir değişim beklenemezdi. Üçüncü senaryoda 1999-2019 yılları arasındaki tarımda kullanılan su (X_3) verileri 1999 yılından önceki

yılların ortalamasına sabitlenmiştir. Bu senaryoya göre eğer tarımda kullanılan su miktarında artış olmasaydı ve tarımda kullanılan su miktarı, 1999 yılından önceki yılların ortalaması kadar olsaydı göle boşalım miktarında ortalama 1460 MCM artış beklenebilirdi. Dördüncü senaryoda 1999-2019 yılları arasındaki KSE (X_1) ve tarımda kullanılan su (X_3) değişkenleri 1999 yılından önceki yılların KSE ve tarımda kullanılan su verilerinin ortalamasına sabitlenmiştir. Bu senaryoya göre eğer KSE’nde azalma ve tarımda kullanılan su miktarında artış olmasaydı göle boşalım miktarında ortalama 3070 MCM artış beklenebilirdi. Bu da son yıllardaki göle boşalım miktarının yaklaşık 3 katı demektir.



5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Kar, su döngüsünün önemli bir parçasıdır. Kar ölçümü ve izlenmesi, iklimsel ve hidrolojik döngülerin anlaşılması ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önemlidir. Ancak, iklim değişikliği nedeniyle kar yağışı miktarı her geçen gün azalmakta, kar erimesi hızlanmakta ve su akışı üzerindeki etkileri değişmektedir. Kar, hem su temini hem de ekosistemler ve tarımsal faaliyetler için önemli bir kaynaktır. Kar yağışı verileri, su kaynakları yönetimi ve iklim modellerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. Kar ölçümleri, su kaynakları yönetimi, iklim modellerinin geliştirilmesi ve su döngüsünün anlaşılması açısından önemlidir. Ancak, yer bazlı kar ölçümleri zaman ve mekansal kısıtlamalardan dolayı eksik veri kaydedebilir. Bu nedenle, uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama yöntemleri, kar örtüsünün izlenmesi ve kar su eşdeğerinin tahmin edilmesi için kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, kar örtüsünün değişimlerini ve kar su eşdeğerini daha kapsamlı bir şekilde elde etmek imkanı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Urmiye Gölü Havzası'nda kar örtüsü ve kar su eşdeğerinin miktar ve dağılımı incelenmiştir. Bu verilerin mevsimsel akış miktarı ve gölün su seviyesi üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. İran'ın kuzeybatısında yer alan Urmiye Gölü Havzası, dağlık bölge olduğu için, karın, önemli bir doğal rezervuar olduğu ortaya koyulmuştur. Urmiye Gölü'nün kuruma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu düşünüldüğünde, kar miktarının takibi su kaynaklarının yönetimi açısından önemlidir. Çalışmada, uzaktan algılama verileri ve yersel ölçümler kullanılarak kar örtüsü ve kar su eşdeğeri analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kar yağışının yüzey akışa ve göl seviyesine katkısını ortaya koymaktadır.

Çalışmada 2007 ila 2013 yılları arasında AMSR-E, GLDAS ve ERA5-land KSE verileri karşılaştırılmıştır. RMSE, R ve R^2 gibi istatistiksel ölçümler, her bir KSE ürününün veri kalitesini yansıtmak için kullanılmıştır. Bu ölçümler, ERA5-land KSE ürününün genel doğruluğunun diğer KSE ürünlerinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, bu ürününün KSE tahmini konusunda daha iyi performans gösterdiğini ve bu nedenle bu ürünün KSE tahminlerinde tercih edilebileceğini düşündürmektedir.

ERA5 KSE veri seti ile yer gözlem istasyonlarında ölçülen kar suyu eşdeğer verileri arasındaki genel sapma diğer veri setlerine göre küçük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yersel ölçümlerle korelasyon ilişkisi GLDAS ve AMSR-E KSE veri setinden daha yüksek çıkmıştır. AMSR-E KSE veri seti, zaman serisi analizinde eksik veri içermiştir ve kar suyu eşdeğerinin değişimlerini tam olarak yansıtmamıştır. Sonuç olarak GLDAS ve AMSR-E KSE veri setlerinin yer ölçümü değerleri ile daha düşük bir doğrusal ilişki gösterdiği ve zaman serisi analizlerinde KSE değişimlerini tam olarak yansıtmadığı ortaya çıkmıştır. Çalışmada ERA5-land KSE veri seti ile gözlemlenen kar suyu eşdeğerleri arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğu ve $R - R^2$ değerleri sırasıyla 0.77 ve 0.64 olarak hesaplanmıştır. ERA5-land KSE veri seti ile yer ölçümleri arasındaki genel sapma AMSR-E ve GLDAS KSE veri setlerinden daha düşük ve korelasyon ilişkisinin AMSR-E ve GLDAS KSE veri setlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, GLDAS KSE veri setinin genel doğruluğu, AMSR-E KSE veri seti ve ERA5 KSE veri seti ile karşılaştırıldığında düşük olsa da zaman serisi açısından daha kullanışlı veri seti olduğu belirtilmiştir. GLDAS, kar suyu eşdeğerlerini daha düşük tahmin etmiştir. Sonuç olarak doğrulamada kullanılan ortalama mutlak hata (MAE) hesaplanarak farklı kar suyu eşdeğer veri setlerinin doğruluk sonuçları ERA5-land KSE < AMSR-E KSE < GLDAS KSE olarak sıralanmıştır.

ERA5 veri seti, 1950'den günümüze kadar olan uzun bir zaman dilimindeki verileri içerdiği için, uzun vadeli analizler için önemli bir veri kaynağıdır ve yüksek bir zaman ve mekansal çözünürlüğe sahip olması sayesinde, geçmiş hava olaylarının detaylı bir şekilde incelenmesine ve gelecekteki eğilimlerin tahmin edilmesine daha ayrıntılı bir veri kaynağı sağlayabilir.

Bu çalışmada ERA5 KSE'nin diğer hidroiklim verileriyle ilişkisi de ortaya koyulmuştur. Sonuç olarak çoklu doğrusal regresyon modelinin çıktılarına dayanarak, KSE değişkeni en yüksek standartlaştırılmış β mutlak değerine sahip olarak göle boşalım miktarını en fazla etkileyen parametre olarak belirlenmiştir. Bu modelde göle boşalım miktarını

etkileyen en önemli değişkenlerin sırası ile KSE, tarımda kullanılan su miktarı ve yağmur olduğu söylenebilir.

Çalışmada, GEE platformunda JavaScript kodlama dili kullanılarak 7 binden fazla uydu görüntüsüne ve 20 binden fazla veriye kolayca erişim sağlanmıştır. Bu yöntem, büyük veri setlerine hızlı erişim sağlamak için oldukça kullanışlıdır ve görüntü işleme, veri işleme ve analiz sürecini hızlandırarak, daha doğru sonuçların elde edilmesine katkı sağlamıştır. GEE'nin sağladığı olanakların sayesinde verilerin depolanması için büyük veri merkezlerine ihtiyaç duymadan, verilerin bulunduğu kaynaklara doğrudan erişim sağlar. Bu sayede, büyük veri işleme projelerinde verilere daha hızlı ve verimli bir şekilde erişim sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abbaspour, M., Nazaridoust, A., 2007. Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach. *Int. J. Environ. Stud.* 64, 161–169. <https://doi.org/10.1080/00207230701238416>
- Abdikan, S., Üstüner, M., Şanlı, F.B., Bilgin, G., 2017. Combining Landsat and ALOS data for land cover mapping, in: 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). Presented at the 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/SIU.2017.7960379>
- Ackerman, S.A., Holz, R.E., Frey, R., Eloranta, E.W., Maddux, B.C., McGill, M., 2008. Cloud Detection with MODIS. Part II: Validation. *J. Atmospheric Ocean. Technol.* 25, 1073–1086. <https://doi.org/10.1175/2007JTECHA1053.1>
- Akar, İ., 2011. Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri Kullanılarak Acıgöl (Türkiye)-Urmiye (İran) Göllerinde Su Yüzeyi Değişimleri ve Yakın Çevresinde Arazi Kullanımının Belirlenmesi (Master). Marmara Üniversitesi-İstanbul Teknik Üniversitesi, 2008-2011, İstanbul.
- Alborzi, A., Mirchi, A., Moftakhari, H., Mallakpour, I., Alian, S., Nazemi, A., Hassanzadeh, E., Mazdidasni, O., Ashraf, S., Madani, K., Norouzi, H., Azarderakhsh, M., Mehran, A., Sadegh, M., Castelletti, A., AghaKouchak, A., 2018. Climate-informed environmental inflows to revive a drying lake facing meteorological and anthropogenic droughts. *Environ. Res. Lett.* 13, 084010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad246>
- Alizade Govarchin Ghale, Y., 2020. Urmia lake desiccation as a new source of dust in themiddle east: Investigation of the anthropogenic impactsand climatic factors on drying up of urmia lake (doctoralThesis). Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü.
- Alizade Govarchin Ghale, Y., 2014. Multitemporal change detection on urmia lake and its catchment area using remote sensing and geographical information systems (Master). Istanbul Teknik University, Istanbul.
- Alizade Govarchin Ghale, Y., Altunkaynak, A., Unal, A., 2018. Investigation Anthropogenic Impacts and Climate Factors on Drying up of Urmia Lake using Water Budget and Drought Analysis. *Water Resour. Manag.* 32, 325–337. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1812-5>
- Alizade Govarchin Ghale, Y., Baykara, M., Unal, A., 2019. Investigating the interaction between agricultural lands and Urmia Lake ecosystem using remote sensing techniques and hydro-climatic data analysis. *Agric. Water Manag.* 221, 566–579. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.028>
- Alizadeh-Choobari, O., Ahmadi-Givi, F., Mirzaei, N., Ovlad, E., 2016. Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. *Int. J. Climatol.* 36, 4276–4286. <https://doi.org/10.1002/joc.4630>
- Aloba Köksal, B., 1980. İstatistik Analiz Metotları İSTATİSTİK ANALİZ METODLARI, Çağlayan Kitapevi. ed. İstanbul, Türkiye.

- Andreadis, K.M., Lettenmaier, D.P., 2006. Assimilating remotely sensed snow observations into a macroscale hydrology model. *Adv. Water Resour.* 29, 872–886. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.08.004>
- Ansari, H., Marofi, S., 2017. Snow Water Equivalent Estimation Using AMSR-E and GLDAS Model (Case Study: Basins of Northwestern Iran) 31, 1497–1510. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i5.58484>
- Appel, I., 2018. Uncertainty in satellite remote sensing of snow fraction for water resources management. *Front. Earth Sci.* 12, 711–727. <https://doi.org/10.1007/s11707-018-0720-1>
- Arkian, F., Nicholson, S.E., Ziaie, B., 2018. Meteorological factors affecting the sudden decline in Lake Urmia’s water level. *Theor. Appl. Climatol.* 131, 641–651. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1992-6>
- Asem, A., Eimanifar, A., Wink, M., 2016. Update of “Biodiversity of the Hypersaline Urmia Lake National Park (NW Iran).” *Diversity* 8, 6. <https://doi.org/10.3390/d8010006>
- Ashraf, S., Soudi, M.R., Ghadam, P., 2017. Production of Xanthanases by *Paenibacillus* spp.: Complete Xanthan Degradation and Possible Applications. *Iran. J. Biotechnol.* 15, 120–127. <https://doi.org/10.15171/ijb.1477>
- Ashrafzadeh Afshar, A., Joodaki, G.R., Sharifi, M.A., 2016. Evaluation of Groundwater Resources in Iran Using GRACE Gravity Satellite Data. *J. Geomat. Sci. Technol.* 5, 73–84.
- Ault, T.W., Czajkowski, K.P., Benko, T., Coss, J., Struble, J., Spongberg, A., Templin, M., Gross, C., 2006. Validation of the MODIS snow product and cloud mask using student and NWS cooperative station observations in the Lower Great Lakes Region. *Remote Sens. Environ.* 105, 341–353. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.004>
- Baba, M.W., Boudhar, A., Gascoin, S., Hanich, L., Marchane, A., Chehbouni, A., 2021. Assessment of MERRA-2 and ERA5 to Model the Snow Water Equivalent in the High Atlas (1981–2019). *Water* 13, 890. <https://doi.org/10.3390/w13070890>
- Bagheri, M., Morid, S., Arshad, S., 2017. Application of Remotely-Sensed Data to Estimate a Water Budget for Data-Scarce Endorheic Basins: A Case Study of Lake Urmia basin, Iran. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 45, 101–112. <https://doi.org/10.1007/s12524-015-0522-9>
- Bagla, P., 2007. Big Melt Threatens India’s Water [WWW Document]. URL <https://www.science.org/content/article/big-melt-threatens-indias-water> (accessed 5.11.23).
- Baker, N., 2011. Joint Polar Satellite System (JPSS) Operational Algorithm Description Document for VIIRS Snow Cover Environmental Data Record (EDR)2.
- Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., Dee, D., Dutra, E., Muñoz-Sabater, J., Pappenberger, F., de Rosnay, P., Stockdale, T., Vitart, F., 2015. ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 389–407. <https://doi.org/10.5194/hess-19-389-2015>

- Barnett, T.P., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P., 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438, 303–309. <https://doi.org/10.1038/nature04141>
- Bashirian, F., Rahimi, D., Movahedi, S., Zakerinejad, R., 2020. Water level instability analysis of Urmia Lake Basin in the northwest of Iran. *Arab. J. Geosci.* 13, 193. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5207-1>
- Baum, B.A., Platnick, S., 2006. Introduction to MODIS Cloud Products, in: Qu, J.J., Gao, W., Kafatos, M., Murphy, R.E., Salomonson, V.V. (Eds.), *Earth Science Satellite Remote Sensing: Vol. 1: Science and Instruments*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 74–91. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37293-6_5
- Beaudoin, H., Rodell, M., Teng, W., Vollmer, B., 2023. Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Products, Services and Application From NASA Hydrology Data and Information
- Bengtsson, L., Kanamitsu, M., Kallberg, P., Uppala, S., 1982. FGGE 4-dimensional data assimilation at ECMWF (weather forecasts). *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63, 29–43. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-63.1.29>
- Berg, A.A., Famiglietti, J.S., Walker, J.P., Houser, P.R., 2003. Impact of bias correction to reanalysis products on simulations of North American soil moisture and hydrological fluxes. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 108. <https://doi.org/10.1029/2002JD003334>
- Booth, R.E., Booth, B., 2000. *Using ArcGIS 3D Analyst: GIS by ESRI*. Environmental Systems Research Institute.
- Bozorg-Haddad, O., Dehghan, P., Zareie, S., Loáiciga, H.A., 2020. System dynamics applied to water management in lakes*. *Irrig. Drain.* 69, 956–966. <https://doi.org/10.1002/ird.2470>
- Brown, R.D., Brasnett, B., Robinson, D., 2003. Gridded North American monthly snow depth and snow water equivalent for GCM evaluation. *Atmosphere-Ocean* 41, 1.
- Burrough, P.A., McDonnell, R.A., Lloyd, C.D., 2015. *Principles of Geographical Information Systems*, 3rd edition. ed. Oxford University Press, Oxford ; New York.
- Byun, K., Choi, M., 2014. Uncertainty of snow water equivalent retrieved from AMSR-E brightness temperature in northeast Asia. *Hydrol. Process.* 28, 3173–3184. <https://doi.org/10.1002/hyp.9846>
- Çelik, A., 2010. Gediz Havzasında Yağış ve Sıcaklık Trendleri İle Akarsu Akımları Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Chaharborj, A.J., 2014. Evaluation of Iran's performance in relation to the environmental problem of the Urmia Lake from the perspective of international environmental law. *Trends Life Sci* 3, 293–305.
- Chang, A.T.C., Foster, J.L., Hall, D.K., 1987. Nimbus-7 SMMR Derived Global Snow Cover Parameters. *Ann. Glaciol.* 9, 39–44. <https://doi.org/10.3189/S0260305500200736>

- Chang, A.T.C., Foster, J.L., Hall, D.K., Rango, A., Hartline, B.K., 1982. Snow water equivalent estimation by microwave radiometry. *Cold Reg. Sci. Technol.* 5, 259–267. [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(82\)90019-2](https://doi.org/10.1016/0165-232X(82)90019-2)
- Chaudhari, S., Felfelani, F., Shin, S., Pokhrel, Y., 2018. Climate and anthropogenic contributions to the desiccation of the second largest saline lake in the twentieth century. *J. Hydrol.* 560, 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.034>
- Chen, C.H., 2012. *Signal and Image Processing for Remote Sensing, Second Edition. “Random Forest Classification of Remote Sensing Data,” Second Edition.* ed. CRC Press.
- Chen, H., Guo, S., Xu, C., Singh, V.P., 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. *J. Hydrol.* 344, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.034>
- Choi, G., Robinson, D.A., Kang, S., 2010. Changing Northern Hemisphere Snow Seasons. *J. Clim.* 23, 5305–5310. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3644.1>
- Clark, M.P., Slater, A.G., Barrett, A.P., Hay, L.E., McCabe, G.J., Rajagopalan, B., Leavesley, G.H., 2006. Assimilation of snow covered area information into hydrologic and land-surface models. *Adv. Water Resour.* 29, 1209–1221. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.10.001>
- Cohen, J., Entekhabi, D., 1999. Eurasian snow cover variability and Northern Hemisphere climate predictability. *Geophys. Res. Lett. - GEOPHYS RES LETT* 26, 345–348. <https://doi.org/10.1029/1998GL900321>
- Courtier, P., Thépaut, J.-N., Hollingsworth, A., 1994. A strategy for operational implementation of 4D-Var, using an incremental approach. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 120, 1367–1387. <https://doi.org/10.1002/qj.49712051912>
- Dalby, S., Moussavi, Z., 2017. Environmental security, geopolitics and the case of Lake Urmia’s disappearance. *Glob. Change Peace Secur.* 29, 39–55. <https://doi.org/10.1080/14781158.2016.1228623>
- Dastranj, H., Tavakoli, F., Soltanpour, A., 2018. Investigating the water level and volume variations of Lake Urmia using satellite images and satellite altimetry. *Sci.- Res. Q. Geogr. Data SEPEHR* 27, 149–163. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.33569>
- Dee, D., co-authors, 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *QJR Meteorol Soc* 137, 553–597.
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N., Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137, 553–597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>

- Dehghani, M., Morid, S., Norouzi, A.A., 2010. Runoff Simulation in Snowbound Catchments, Using SRM and ANN Models to Estimate Hydropower Potentials in Data Scarcity Situations. *Iran-Water Resour. Res.* 6, 12–24.
- Dehghanipour, A.H., Zahabiyoun, B., Schoups, G., Babazadeh, H., 2019. A WEAP-MODFLOW surface water-groundwater model for the irrigated Miyandoab plain, Urmia lake basin, Iran: Multi-objective calibration and quantification of historical drought impacts. *Agric. Water Manag.* 223, 105704. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105704>
- Delavar, M., Morid, S., Nikbakht, N., 2012. Distributed Snowmelt Simulation in Ungauged Mountainous Catchments, Case Study: Imamzadeh Davoud Catchment. *Iran-Water Resour. Res.* 7, 41–50.
- Delavar, M.A., Naderi, A., Ghorbani, Y., Mehrpouyan, A., Bakhshi, A., 2020. Soil salinity mapping by remote sensing south of Urmia Lake, Iran. *Geoderma Reg.* 22, e00317. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00317>
- Delju, A.H., Ceylan, A., Piguët, E., Rebetez, M., 2013. Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 111, 285–296. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0651-9>
- Derksen, C., Walker, A., Goodison, B., 2005. Evaluation of passive microwave snow water equivalent retrievals across the boreal forest/tundra transition of western Canada. *Remote Sens. Environ.* 96, 315–327. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.02.014>
- Di Tomaso, E., Schutgens, N.A.J., Jorba, O., Pérez García-Pando, C., 2017. Assimilation of MODIS Dark Target and Deep Blue observations in the dust aerosol component of NMMB-MONARCH version 1.0. *Geosci. Model Dev.* 10, 1107–1129. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-1107-2017>
- Dong, J., Peters-Lidard, C., 2010. On the Relationship Between Temperature and MODIS Snow Cover Retrieval Errors in the Western U.S. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 3, 132–140. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2009.2039698>
- Dong, J., Walker, J.P., Houser, P.R., 2005. Factors affecting remotely sensed snow water equivalent uncertainty. *Remote Sens. Environ.* 97, 68–82. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.04.010>
- Dong, J., Xiao, X., Menarguez, M.A., Zhang, G., Qin, Y., Thau, D., Biradar, C., Moore, B., 2016. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sens. Environ., Landsat 8 Science Results* 185, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.016>
- Dozier, J., 1992. Opportunities to improve hydrologic data. *Rev. Geophys.* 30, 315–331. <https://doi.org/10.1029/92RG01440>
- Dozier, J., Painter, T.H., Rittger, K., Frew, J.E., 2008. Time–space continuity of daily maps of fractional snow cover and albedo from MODIS. *Adv. Water Resour., Hydrologic Remote Sensing* 31, 1515–1526. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.08.011>

- Dziubanski, D.J., Franz, K.J., 2016. Assimilation of AMSR-E snow water equivalent data in a spatially-lumped snow model. *J. Hydrol.* 540, 26–39. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.046>
- Eimanifar, A., Mohebbi, F., 2007. Urmia Lake (Northwest Iran): a brief review. *Saline Syst.* 3, 5. <https://doi.org/10.1186/1746-1448-3-5>
- Fang, H., Beaudoin, H.K., Rodell, matthew, Teng, W.L., Vollmer, B.E., 2009. Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Products, Services and Application from NASA Hydrology Data and Information Services Center (HDISC). Presented at the ASPRS 2009 Annual Conference, Baltimore, MD.
- Farajzadeh, J., Fakheri Fard, A., Lotfi, S., 2014. Modeling of monthly rainfall and runoff of Urmia lake basin using “feed-forward neural network” and “time series analysis” model. *Water Resour. Ind.* 7–8, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.10.003>
- Farokhnia, A., Morid, S., Delavar, M., 2018. Study of Land Use Change in the Urmia Lake Water Shed Based on Landsat-TM Images and Pixel-Based and Object-Based Classification Techniques. *Iran. J. Irrig. Drain.* 12, 823–839.
- Fathi, M.H., Madadi, A., Beheshti, A., Sarmasti, N., 2015. Assessment of Urmia Lake water level fluctuations and increase in salt areas in the North West Iran. *Phys. Geogr. Res. Q.* 4 (2), 4, 271-285 (in Persian).
- Fathian, F., Dehghan, Z., Bazrkar, M.H., Eslamian, S., 2016a. Trends in hydrological and climatic variables affected by four variations of the Mann-Kendall approach in Urmia Lake basin, Iran. *Hydrol. Sci. J.* 61, 892–904. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.932911>
- Fathian, F., Dehghan, Z., Eslamian, S., 2016b. Evaluating the impact of changes in land cover and climate variability on streamflow trends (case study: eastern subbasins of Lake Urmia, Iran). *Int. J. Hydrol. Sci. Technol.* 6, 1–26. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2016.073881>
- Fathian, F., Prasad, A. d., Dehghan, Z., Eslamian, S., 2015. Influence of land use/land cover change on land surface temperature using RS and GIS techniques. *Int. J. Hydrol. Sci. Technol.* 5, 195–207. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2015.071348>
- Fathzadeh, A., Zare Bidaki, R., 2012. Estimating the Distribution of Snow Melt Equivalent at the Peak of Snow Accumulation, through Degree – Day Model. *Iran. J. Soil Water Res.* 43, 171–177. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2012.25053>
- Fayad, A., Gascoin, S., Faour, G., López-Moreno, J.I., Drapeau, L., Page, M.L., Escadafal, R., 2017. Snow hydrology in Mediterranean mountain regions: A review. *J. Hydrol., Investigation of Coastal Aquifers* 551, 374–396. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.063>
- Fazel, N., Torabi Haghghi, A., Kløve, B., 2017. Analysis of land use and climate change impacts by comparing river flow records for headwaters and lowland reaches. *Glob. Planet. Change* 158, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.09.014>

- Ferreira, V., Andam-Akorful, S., He, X., Xiao, R., 2014. Estimating water storage changes and sink terms in Volta Basin from satellite missions. *Water Sci. Eng.* 7, 5–16. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2014.01.002>
- Foster, J.L., Chang, A.T.C., Hall, D.K., 1997. Comparison of snow mass estimates from a prototype passive microwave snow algorithm, a revised algorithm and a snow depth climatology. *Remote Sens. Environ.* 62, 132–142. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00085-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00085-0)
- Frei, A., Tedesco, M., Lee, S., Foster, J., Hall, D.K., Kelly, R., Robinson, D.A., 2012. A review of global satellite-derived snow products. *Adv. Space Res., Oceanography, Cryosphere and Freshwater Flux to the Ocean* 50, 1007–1029. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2011.12.021>
- Frey, R.A., Ackerman, S.A., Liu, Y., Strabala, K.I., Zhang, H., Key, J.R., Wang, X., 2008. Cloud Detection with MODIS. Part I: Improvements in the MODIS Cloud Mask for Collection 5. *J. Atmospheric Ocean. Technol.* 25, 1057–1072. <https://doi.org/10.1175/2008JTECHA1052.1>
- Gao, Y., Xie, H., Lu, N., Yao, T., Liang, T., 2010. Toward advanced daily cloud-free snow cover and snow water equivalent products from Terra–Aqua MODIS and Aqua AMSR-E measurements. *J. Hydrol.* 385, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.022>
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M.J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., Randles, C., Darmenov, A., Bosilovich, M.G., Reichle, R., Wargan, K., Coy, L., Cullather, R., Draper, C., Akella, S., Buchard, V., Conaty, A., da Silva, A., Gu, W., Kim, G.-K., Koster, R., Lucchesi, R., Merkova, D., Nielsen, J.E., Partyka, G., Pawson, S., Putman, W., Rienecker, M., Schubert, S.D., Sienkiewicz, M., Zhao, B., 2017. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *J. Clim.* Volume 30, 5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>
- Ghaheri, M., Baghal-Vayjooee, M.H., Naziri, J., 1999. Lake Urmia, Iran: A summary review. *Int. J. Salt Lake Res.* 8, 19–22. <https://doi.org/10.1007/BF02442134>
- Ghashghaie, M., Nozari, H., 2018. Effect of Dam Construction on Lake Urmia: Time Series Analysis of Water Level via ARIMA. *J. Agric. Sci. Technol.* 20, 1541–1553.
- Gibson, J., Kallberg, P., Uppala, S.S., Hernandez-Carrascal, A., Nomura, A., SERRANO, E., 1999. ERA-15 Description. ECMWF re-analysis project report series, no. 1, version 2.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ., Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Güler, M., Kara, T., 2007. Alansal Dağılım Özelliği Gösteren İklim Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Belirlenmesi ve Kullanım Alanları; Genel Bir Bakış. *Anadolu Tarım Bilim. Derg.* 22, 322–328. <https://doi.org/10.7161/anajas.2007.22.3.322-328>

- Gümüş, V., YeniGün, K., 2006. Aşağı Fırat Havzası Akımlarının Trend Analizi İle Değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi. İstanbul, Türkiye 11–13.
- Günther, R.T., 1899. Contributions to the Natural History of Lake Urmia, N.W. Persia, and its Neighbourhood. *Zool. J. Linn. Soc.* 27, 345–453. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1899.tb00414.x>
- Hajimoradi, A., 2021. Lessons Learned From Projects in From Urmia Lake Restoration Program. Urmia Lake Restoration Program. Iran.
- Hall, D.K., Foster, J.L., Verbyla, D.L., Klein, A.G., Benson, C.S., 1998. Assessment of Snow-Cover Mapping Accuracy in a Variety of Vegetation-Cover Densities in Central Alaska. *Remote Sens. Environ.* 66, 129–137. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00051-0)
- Hall, D.K., Riggs, G.A., 2010. Normalized-Difference Snow Index (NDSI).
- Hall, D.K., Riggs, G.A., 2007. Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrol. Process.* 21, 1534–1547. <https://doi.org/10.1002/hyp.6715>
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E., Bayr, K.J., 2002a. MODIS snow-cover products. *Remote Sens. Environ., The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): a new generation of Land Surface Monitoring* 83, 181–194. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00095-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00095-0)
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E., Bayr, K.J., 2002b. MODIS snow-cover products. *Remote Sens. Environ., The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): a new generation of Land Surface Monitoring* 83, 181–194. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00095-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00095-0)
- Hammond, T., Yarie, J., 1996. Spatial prediction of climatic state factor regions in Alaska. *Écoscience* 3, 490–501. <https://doi.org/10.1080/11956860.1996.11682368>
- Hamzekhani, F.G., Saghafian, B., Araghinejad, S., 2016. Environmental management in Urmia Lake: thresholds approach. *Int. J. Water Resour. Dev.* 32, 77–88. <https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1024829>
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M., Hassanzadeh, Y., 2012. Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling. *Water Resour. Manag.* 26, 129–145. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8>
- Hersbach, H., 2019. Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA5. *ECMWF Newsl.* 159, 17.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Thépaut, J.-N., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 146, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

- Hesami, A., Amini, A., 2016. Changes in irrigated land and agricultural water use in the Lake Urmia basin. *Lake Reserv. Manag.* 32, 288–296. <https://doi.org/10.1080/10402381.2016.1211202>
- Hofer, R., Mätzler, C., 1980. Investigations on snow parameters by radiometry in the 3- to 60-mm wavelength region. *J. Geophys. Res. Oceans* 85, 453–460. <https://doi.org/10.1029/JC085iC01p00453>
- Holdaway, m, 1996. Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using kriging. *Clim. Res.* 06, 215–225. <https://doi.org/10.3354/cr006215>
- Hosaka, M., Nohara, D., Kitoh, A., 2005. Changes in Snow Cover and Snow Water Equivalent Due to Global Warming Simulated by a 20km-mesh Global Atmospheric Model. *SOLA* 1, 93–96. <https://doi.org/10.2151/sola.2005-025>
- Hosseini-Moghari, S.-M., Araghinejad, S., Tourian, M.J., Ebrahimi, K., Döll, P., 2020. Quantifying the impacts of human water use and climate variations on recent drying of Lake Urmia basin: the value of different sets of spaceborne and in situ data for calibrating a global hydrological model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 24, 1939–1956. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1939-2020>
- Hosseinzad, J., Sarbaz, A., Ghorbani, M.A., 2019. Effect of Rainfall Indices on Ground Water Resource Consumption and Cropping Patterns (Case study: Shabestar plain from Urmia lake Basin). *Iran. J. Irrig. Drain.* 13, 232–242.
- Huang, H., Qian, Y., He, C., Bair, E.H., Rittger, K., 2022. Snow Albedo Feedbacks Enhance Snow Impurity-Induced Radiative Forcing in the Sierra Nevada. *Geophys. Res. Lett.* 49, e2022GL098102. <https://doi.org/10.1029/2022GL098102>
- Hudson, G., Wackernagel, H., 1994. Mapping temperature using kriging with external drift: Theory and an example from scotland. *Int. J. Climatol.* 14, 77–91. <https://doi.org/10.1002/joc.3370140107>
- Hüsler, F., Jonas, T., Wunderle, S., Albrecht, S., 2012. Validation of a modified snow cover retrieval algorithm from historical 1-km AVHRR data over the European Alps. *Remote Sens. Environ.* 121, 497–515. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.018>
- IGO-NGOs, 2010. Integrated Management Plan for Lake Urmia Basin. Prepared in cooperation with Governmental Organizations, NGOs and Local Communities of Lake Urmia Basin. Approved Version: 2010. Iran.
- Imaoka, K., Kachi, M., Kasahara, M., Ito, N., Nakagawa, K., Oki, T., 2010. Instrument performance and calibration of AMSR-E and AMSR2. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.* 38, 13–16.
- Iran-FCE, 2010. First Consulting Engineers. Management Plan For The Lake Urmia Ecosystem. Report 1 of The Ec-Iip Environmental Management Project For Lake Urmia. Iran. Iran.
- Iran-FCE, 2002. First Consulting Engineers. Management Plan For The Lake Urmia Ecosystem. Report 1 of The Ec-Iip Environmental Management Project For Lake Urmia. Iran. Tahrán.

- IWRMC, 2019. IRAN Water Resources Management Company. The portal provides basic statistics. Urmia Lake Basin. Iran. Azarbaijan [WWW Document]. IRAN Water Resour. Manag. Co. URL <https://www.wrm.ir/> (accessed 4.23.23).
- IWRR, 2020. Iran-Water Resources Research. Climatic characteristics of the watershed of Lake Urmia. Tahran [WWW Document]. Iran-Water Resour. Res. URL <http://www.iwrr.ir/?lang=en> (accessed 4.23.23).
- Jaagus, J., 1997. THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE SNOW COVER PATTERN IN ESTONIA. *Clim. Change* 36, 65–77. <https://doi.org/10.1023/A:1005304720412>
- Jafari, F., Eftekhari, M., 2013. Assessment of Urmia Lake Water Interactions and Saltwater Intrusion to Surrounding Aquifers. *Water Irrig. Manag.* 3, 29–47. <https://doi.org/10.22059/jwim.2013.35736>
- Jiang, L., Wang, P., Zhang, L., Yang, H., Yang, J., 2014. Improvement of snow depth retrieval for FY3B-MWRI in China. *Sci. China Earth Sci.* 57, 1278–1292. <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4798-8>
- Kafatos, M., Qu, J.J., 2006. Introduction to Science and Instruments, in: Qu, J.J., Gao, W., Kafatos, M., Murphy, R.E., Salomonson, V.V. (Eds.), *Earth Science Satellite Remote Sensing: Vol. 1: Science and Instruments*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1–11. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37293-6_1
- Kanani, R., Fard, A.F., Ghorbani, M.A., Dinpashoh, Y., 2019. Analysis of the role of climatic and human factors in runoff variations (case study: Lighvan River in Urmia Lake Basin, Iran). *J. Water Clim. Change* 11, 291–302. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.186>
- Karimi, N., Bagheri, M.H., Hooshyaripor, F., Farokhnia, A., Sheshangosht, S., 2016. Deriving and Evaluating Bathymetry Maps and Stage Curves for Shallow Lakes Using Remote Sensing Data. *Water Resour. Manag.* 30, 5003–5020. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1465-9>
- Kelly, R., 2009. The AMSR-E Snow Depth Algorithm: Description and Initial Results. *J. Remote Sens. Soc. Jpn.* 29, 307–17. <https://doi.org/10.11440/rssj.29.307>
- Kelly, R.E., Chang, A.T.C., Foster, J.L., 2007. Updated Daily. AMSR-E/Aqua Daily L3 Global Snow Water Equivalent EASE-Grids V001, October to September 2006–2007. National Snow and Ice Data Center, Digital Media, Boulder, CO, USA.
- Kendall, M.G., 1975. Rank correlation methods, 4th ed., 2d impression. ed. Griffin, London.
- Khaki, M., Forootan, E., Kuhn, M., Awange, J., van Dijk, A.I.J.M., Schumacher, M., Sharifi, M.A., 2018. Determining water storage depletion within Iran by assimilating GRACE data into the W3RA hydrological model. *Adv. Water Resour.* 114, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.02.008>
- Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S.H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., Kalantari, Z., Destouni, G., Aghakouchak, A., 2019. Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. *J. Hydrol.* 569, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.004>

- Klein, A.G., Hall, D.K., Riggs, G.A., 1998. Improving snow cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model. *Hydrol. Process.* 12, 1723–1744. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199808/09\)12:10/11<1723::AID-HYP691>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199808/09)12:10/11<1723::AID-HYP691>3.0.CO;2-2)
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebita, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K., Takahashi, K., 2015. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Meteorol. Soc. Jpn. Ser II* 93, 5–48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>
- Koskinen, J., Leinonen, U., Vollrath, A., Ortmann, A., Lindquist, E., d’Annunzio, R., Pekkarinen, A., Käyhkö, N., 2019. Participatory mapping of forest plantations with Open Foris and Google Earth Engine. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 148, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.011>
- Kumar, L., Mutanga, O., 2018. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sens.* 10, 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Kumar, S.V., Peters-Lidard, C.D., Tian, Y., Houser, P.R., Geiger, J., Olden, S., Lighty, L., Eastman, J.L., Doty, B., Dirmeyer, P., Adams, J., Mitchell, K., Wood, E.F., Sheffield, J., 2006. Land information system: An interoperable framework for high resolution land surface modeling. *Environ. Model. Softw.* 21, 1402–1415. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.07.004>
- Li, X.-Y., Wang, H., Chen, J., Endo, S., George, G., Cairns, B., Chellappan, S., Zeng, X., Kirschler, S., Voigt, C., Sorooshian, A., Crosbie, E., Chen, G., Ferrare, R.A., Gustafson, W.I., Hair, J.W., Kleb, M.M., Liu, H., Moore, R., Painemal, D., Robinson, C., Scarino, A.J., Shook, M., Shingler, T.J., Thornhill, K.L., Tornow, F., Xiao, H., Ziemba, L.D., Zuidema, P., 2021. Large-Eddy Simulations of Marine Boundary Layer Clouds Associated with Cold-Air Outbreaks during the ACTIVATE Campaign. Part I: Case Setup and Sensitivities to Large-Scale Forcings. *J. Atmospheric Sci.* 79, 73–100. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-21-0123.1>
- Li, Z., Liu, C., Zhang, P., Tian, B., 2018. Assessment of Snow Cover Product Using Google Earth Engine Cloud Computing Platform. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518931>
- Li, Z., Lyu, S., Chen, H., Ao, Y., Zhao, L., Wang, S., Zhang, S., Meng, X., 2021. Changes in climate and snow cover and their synergistic influence on spring runoff in the source region of the Yellow River. *Sci. Total Environ.* 799, 149503. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149503>
- Liang, J., Liu, X., Huang, K., Li, X., Shi, X., Chen, Y., Li, J., 2015. Improved snow depth retrieval by integrating microwave brightness temperature and visible/infrared reflectance. *Remote Sens. Environ.* 156, 500–509. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.016>
- Liang, S., Wang, J. (Eds.), 2020. Chapter 19 - Snow water equivalent, in: *Advanced Remote Sensing (Second Edition)*. Academic Press, pp. 713–763. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815826-5.00019-2>

- Liu, Y., Key, J.R., Frey, R.A., Ackerman, S.A., Menzel, W.P., 2004. Nighttime polar cloud detection with MODIS. *Remote Sens. Environ.* 92, 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.004>
- Lo, C.P., Yeung, A.K.W., 2006. *Concepts And Techniques Of Geographic Information Systems*, 2nd edition. ed. Pearson College Div, Upper Saddle River, NJ.
- Lobl, E., 2012. Accomplishments from 9.5 years of AMSR-E observations. *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.* <https://doi.org/10.1117/12.957492>
- Lobl, E., 2001. Joint Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR) Science Team meeting. *Earth Obs.* 13, 3–9.
- López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Zabalza, J., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., 2013. Hydrological response to climate variability at different time scales: A study in the Ebro basin. *J. Hydrol.* 477, 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.028>
- Luojus, K., Pulliainen, J., Takala, M., Lemmetyinen, J., Mortimer, C., Derksen, C., Mudryk, L., Moisander, M., Hiltunen, M., Smolander, T., Ikonen, J., Cohen, J., Salminen, M., Norberg, J., Veijola, K., Venäläinen, P., 2021. GlobSnow v3.0 Northern Hemisphere snow water equivalent dataset. *Sci. Data* 8, 163. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00939-2>
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 13, 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Maurer, E., Rhoads, J., Dubayah, R., Lettenmaier, D., 2003. Evaluation of the Snow-covered Area Data Product from MODIS. *Hydrol. Process.* 17, 59–71. <https://doi.org/10.1002/hyp.1193>
- McFEETERS, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Mehrian, M.R., Hernandez, R.P., Yavari, A.R., Faryadi, S., Salehi, E., 2016. Investigating the causality of changes in the landscape pattern of Lake Urmia basin, Iran using remote sensing and time series analysis. *Environ. Monit. Assess.* 188, 462. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5456-3>
- Menne, M., Durre, I., Vose, R., Gleason, B., Houston, T., 2012. An Overview of the Global Historical Climatology Network-Daily Database. *J. Atmospheric Ocean. Technol.* 29, 897–910. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00103.1>
- Mir Yaghoobzadeh, M.H., Ghanbarpour, M.R., 2010. Investigation to MODIS Snow Cover Maps Usage in SnowmeltRunoff Modeling (Case Study: Karaj Dam Basin). *Sci. Q. J. Geosci.* 19, 141–148. <https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55672>
- Mizukami, N., Perica, S., 2012. Towards improved snow water equivalent retrieval algorithms for satellite passive microwave data over the mountainous basins of western USA. *Hydrol. Process.* 26, 1991–2002. <https://doi.org/10.1002/hyp.8333>
- Moghtased-Azar, K., Mirzaei, A., Nankali, H.R., Tavakoli, F., 2012. Investigation of correlation of the variations in land subsidence (detected by continuous GPS measurements) and methodological data in the surrounding areas of Lake Urmia.

- Nonlinear Process. Geophys. 19, 675–683. <https://doi.org/10.5194/npg-19-675-2012>
- Mora Alonso-Muñoyerro, J., 2015. Comportamiento hidrológico de cuencas de media montaña españolas: efectos de los procesos de acumulación / fusión de nieve en terrenos permeables sobre la infiltración y régimen de caudales Alto Tajo (phd). E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).
- Moravej, M., 2016. Investigating climate change using AK stationarity test in the Lake Urmia basin. *Int. J. Hydrol. Sci. Technol.* 6, 382–407. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2016.079349>
- Mortimer, C., Mudryk, L., Derksen, C., Luojus, K., Brown, R., Kelly, R., Tedesco, M., 2020. Evaluation of long-term Northern Hemisphere snow water equivalent products. *The Cryosphere* 14, 1579–1594. <https://doi.org/10.5194/tc-14-1579-2020>
- Mosayyebi, L., 2017. Investigation Of Hydrogeochemical And Some Pollution Parameters Of Kahriz Plain Underground Waters In North West Of Iran Urmia Lake | AVESÍS (postgraduate). Gazi university, Ankara.
- Moser, M.E., 2005. (Co-Author And Editor). Integrated Water Resources Management for The Lake Uromiyeh Lake, Module 3: Water For Ecosystems. Report On The 7 Pilot Wetlands. Pandam Consulting Engineers.
- Mudryk, L.R., Derksen, C., Kushner, P.J., Brown, R., 2015. Characterization of Northern Hemisphere Snow Water Equivalent Datasets, 1981–2010. *J. Clim.* 28, 8037–8051. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0229.1>
- Muñoz Sabater, J., 2019. ERA5-Land hourly data from 1981 to present. Copernic. Clim. Change Serv. C3S Clim. Data Store CDS 10.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D.G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N.J., Zsoter, E., Buontempo, C., Thépaut, J.-N., 2021. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth Syst. Sci. Data* 13, 4349–4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- Nadiri, A.A., Taheri, Z., Khatibi, R., Barzegari, G., Dideban, K., 2018. Introducing a new framework for mapping subsidence vulnerability indices (SVIs): ALPRIFT. *Sci. Total Environ.* 628–629, 1043–1057. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.031>
- Nadizadeh Shorabeh, S., Kakroodi, A., Neysani Samani, N., Moradipour, F., 2018. Analysis of the impact of periodic changes of Coastlines in expanding the salty marsh of the margin of Uremia Lake Using the Landsat Satellite Images.
- Nakhaei, M., Vadiati, M., 2014. Spatial Analysis of Natural Hazards Resulting from the Over- Exploration of Ground Water in the Coastal Aquifer of Urmia Region. *J. Spat. Anal. Environ. Hazards* 1, 53–65.
- Nazmfar, H., Fathi, M., khaligi, M., 2015. Investigating the effects of Lake Urmia water level on the biology of the Northwest of Iran using remote sensing data. *Geogr. Environ. Plan.* 26, 193–208.

- Nemani, R., Running, S.W., Band, L.E., Peterson, D.L., 1993. Regional hydroecological simulation system: an illustration of the integration of ecosystem models in a GIS. *Environ. Model. GIS* 296–304.
- Nusser, S.M., Goebel, J.J., 1997. The National Resources Inventory: a long-term multi-resource monitoring programme. *Environ. Ecol. Stat.* 4, 181–204. <https://doi.org/10.1023/A:1018574412308>
- Özdemir, H., 2007. Havran Çayı Havzasının (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Taşkın ve Heyelan Risk Analizi (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Pan, M., Sheffield, J., Wood, E.F., Mitchell, K.E., Houser, P.R., Schaake, J.C., Robock, A., Lohmann, D., Cosgrove, B., Duan, Q., Luo, L., Higgins, R.W., Pinker, R.T., Tarpley, J.D., 2003. Snow process modeling in the North American Land Data Assimilation System (NLDAS): 2. Evaluation of model simulated snow water equivalent. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 108. <https://doi.org/10.1029/2003JD003994>
- Parsinejad, M., Rosenberg, D.E., Ghale, Y.A.G., Khazaei, B., Null, S.E., Raja, O., Safaie, A., Sima, S., Sorooshian, A., Wurtsbaugh, W.A., 2022. 40-years of Lake Urmia restoration research: Review, synthesis and next steps. *Sci. Total Environ.* 832, 155055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155055>
- Penny, S.G., Akella, S., Buehner, M., Chevallier, M., Counillon, F., Draper, C., Frolov, S., Fujii, Y., Karspeck, A., Kumar, A., 2017. Coupled Data Assimilation for Integrated Earth System Analysis and Prediction: Goals, Challenges, and Recommendations.
- Philip, G.M., Watson, D.F., 1982. A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *APPEA J.* 22, 205. <https://doi.org/10.1071/AJ81016>
- Pirazzini, R., Leppänen, L., Picard, G., Lopez-Moreno, J.I., Marty, C., Macelloni, G., Kontu, A., Von Lerber, A., Tanis, C.M., Schneebeli, M., De Rosnay, P., Arslan, A.N., 2018. European In-Situ Snow Measurements: Practices and Purposes. *Sensors* 18, 2016. <https://doi.org/10.3390/s18072016>
- Pooralihosseini, S., Delavar, M., 2020. A multi-model ensemble approach for the assessment of climatic and anthropogenic impacts on river flow change. *Hydrol. Sci. J.* 65, 71–86. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1682148>
- Raleigh, M.S., Livneh, B., Lapo, K., Lundquist, J.D., 2016. How Does Availability of Meteorological Forcing Data Impact Physically Based Snowpack Simulations? *J. Hydrometeorol.* 17, 99–120. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0235.1>
- Rasouli, A.A., Edhami, S., 2008. Calculate the water equivalent of snow cover with image processing MODIS sensor. *Geogr. Dev. Iran. J.*
- Rasouli, K., 2006. Modelling of Urmia Lake Coastal Changes by Applying an Integrated RS/GIS Approach. Presented at the Paper presented at the CoastGIS Conference, Tabriz.

- Reichle, R., Koster, R., De Lannoy, G., Forman, B., Liu, Q., Mahanama, S., Toure, A., 2011. Assessment and Enhancement of MERRA Land Surface Hydrology Estimates. *J. Clim.* 24, 6322–6338. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-10-05033.1>
- Rezvantlab, S., Amrollahi, M., 2011. Investigation of recent changes in Urmia Salt Lake. *Int J Chem Env. Eng* 2 168–171.
- Riggs, G., Hall, D., 2020. Continuity of MODIS and VIIRS Snow Cover Extent Data Products for Development of an Earth Science Data Record. *Remote Sens.* 12, 3781. <https://doi.org/10.3390/rs12223781>
- Riggs, G., Hall, D., Salomonson, V., 2006. MODIS Snow products user guide to collection 5. *Digit. Media* 6.
- Riggs, G., Hall, D., Vuyovich, C., DiGirolamo, N., 2022. Development of Snow Cover Frequency Maps from MODIS Snow Cover Products. *Remote Sens.* 14, 5661. <https://doi.org/10.3390/rs14225661>
- Riggs, G.A., Hall, D.K., Román, M.O., 2017. Overview of NASA's MODIS and Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) snow-cover Earth System Data Records. *Earth Syst. Sci. Data* 9, 765–777. <https://doi.org/10.5194/essd-9-765-2017>
- Riggs, G.A., Hall, D.K., Román, M.O., 2015. MODIS snow products collection 6 user guide. National Snow and Ice Data Center: Boulder, CO, USA, 66.
- Rodell, M., Houser, P.R., 2004. Updating a Land Surface Model with MODIS-Derived Snow Cover. *J. Hydrometeorol.* 5, 1064–1075. <https://doi.org/10.1175/JHM-395.1>
- Rodell, M., Houser, P.R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C.-J., Arsenault, K., Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J.K., Walker, J.P., Lohmann, D., Toll, D., 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 85, 381–394. <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>
- Romero, J.R., Melack, J.M., 1996. Sensitivity of vertical mixing in a large saline lake to variations in runoff. *Limnol. Oceanogr.* 41, 955–965. <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.5.0955>
- Rui, H., Beaudoin, H., Loeser, C., 2021. README for NASA GLDAS Version 2 Data Products." NASA Goddard Space Flight Center: Greenbelt, MD, USA 22.
- Sadra, 2004, 2004. Hydrodynamic & Hydraulic and Environmental (Sediment & Salinity) Investigation (No. TEP81449YGP10002), Design & Construction Of the Oromieh Lake Causeway. Sadra Company, Tehran, Iran.
- Safaie, A., Alizadeh, A., Nikfar, M., Chamanmotlagh, F., Jamaat, A., Zarei, A., 2021. Numerical study of hydrodynamics, chemical properties, and water quality in Lake Urmia considering normal and abnormal inflows. ULRP-SUT-BMAS-RPT002. Urmia Lake Restoration Program (ULRP), Tehran, Iran. Iran- Tahrán.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M.P., Dool, H. van den, Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., Becker, E., 2014. The NCEP Climate

- Forecast System Version 2. *J. Clim.* 27, 2185–2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- Salomonson, V.V., Barnes, W.L., Maymon, P.W., Montgomery, H.E., Ostrow, H., 1989. MODIS: advanced facility instrument for studies of the Earth as a system. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 27, 145–153. <https://doi.org/10.1109/36.20292>
- Shadkam, S., Ludwig, F., van Oel, P., Kirmir, Ç., Kabat, P., 2016. Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake. *J. Gt. Lakes Res.* 42, 942–952. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.07.033>
- Shadmani, M., Marofi, S., Roknian, M., 2012. Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. *Water Resour. Manag.* 26, 211–224. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9913-z>
- Shao, D., Li, H., Wang, J., Hao, X., Che, T., Ji, W., 2022. Reconstruction of a daily gridded snow water equivalent product for the land region above 45° N based on a ridge regression machine learning approach. *Earth Syst. Sci. Data* 14, 795–809. <https://doi.org/10.5194/essd-14-795-2022>
- Shokoohi, A., Morovati, R., 2015. Basinwide Comparison of RDI and SPI Within an IWRM Framework. *Water Resour. Manag.* 29, 2011–2026. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0925-y>
- Sieber, A., Uhlenbrook, S., 2005. Sensitivity analyses of a distributed catchment model to verify the model structure. *J. Hydrol.* 310, 216–235. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.01.004>
- Sima, S., Ahmadalipour, A., Shafiee Jood, M., Tajrishy, M., Abrishamchi, A., 2012. Monitoring Urmia Lake Area Variations Using MODIS Satellite Data 1917–1926. <https://doi.org/10.1061/9780784412312.192>
- Sima, S., Rosenberg, D.E., Wurtsbaugh, W.A., Null, S.E., Kettenring, K.M., 2021. Managing Lake Urmia, Iran for diverse restoration objectives: Moving beyond a uniform target lake level. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 35, 100812. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100812>
- Sima, S., Tajrishi, M., 2015. Estimation of Urmia Lake Evaporation Using Remote Sensing Data. *Iran-Water Resour. Res.* 11, 32–48.
- Snauffer, A.M., Hsieh, W.W., Cannon, A.J., 2016. Comparison of gridded snow water equivalent products with in situ measurements in British Columbia, Canada. *J. Hydrol.* 541, 714–726. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.027>
- Sönmez, İ., Tekeli, A., Erdi, E., 2014. Snow cover trend analysis using Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) data over Turkey. *Int. J. Climatol.* 34. <https://doi.org/10.1002/joc.3843>
- Sorman, A.U., Beser, O., 2013. Determination of snow water equivalent over the eastern part of Turkey using passive microwave data. <https://doi.org/10.1002/hyp.9267>

- Stone, R., 2015. Saving Iran's great salt lake. *Science* 349, 1044–1047. <https://doi.org/10.1126/science.349.6252.1044>
- Swift, C.T., Cavalieri, D.J., 1985. Passive microwave remote sensing for sea ice research. *Eos Trans. Am. Geophys. Union* 66, 1210–1212. <https://doi.org/10.1029/EO066i049p01210>
- Szwed, M., Pińskwar, I., Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D., Mezghani, A., 2017. Changes of snow cover in Poland. *Acta Geophys.* 65, 65–76. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0007-z>
- Taheri, M., Emadzadeh, M., Gholizadeh, M., Tajrishi, M., Ahmadi, M., Moradi, M., 2019. Investigating the temporal and spatial variations of water consumption in Urmia Lake River Basin considering the climate and anthropogenic effects on the agriculture in the basin. *Agric. Water Manag.* 213, 782–791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.013>
- Tedesco, M., Jeyaratnam, J., 2016. A New Operational Snow Retrieval Algorithm Applied to Historical AMSR-E Brightness Temperatures. *Remote Sens.* 8, 1037. <https://doi.org/10.3390/rs8121037>
- Tekeli, A.E., 2008. Early findings in comparison of AMSR-E/Aqua L3 global snow water equivalent EASE-grids data with in situ observations for Eastern Turkey. *Hydrol. Process.* 22, 2737–2747. <https://doi.org/10.1002/hyp.7093>
- Tekeli, A.E., Akyürek, Z., Arda Şorman, A., Şensoy, A., Ünal Şorman, A., 2005. Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sens. Environ.* 97, 216–230. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.013>
- Thirel, G., Salamon, P., Burek, P., Kalas, M., 2013. Assimilation of MODIS Snow Cover Area Data in a Distributed Hydrological Model Using the Particle Filter. *Remote Sens.* 5, 5825–5850. <https://doi.org/10.3390/rs5115825>
- Tisseuil, C., Roshan, G.R., Nasrabadi, T., Asadpour, G.A., 2013. Statistical Modeling of Future Lake Level under Climatic Conditions, Case study of Urmia Lake (Iran). *Int. J. Environ. Res.* 7, 69–80. <https://doi.org/10.22059/ijer.2012.587>
- Tong, J., Velicogna, I., 2010. A Comparison of AMSR-E/Aqua Snow Products with in situ Observations and MODIS Snow Cover Products in the Mackenzie River Basin, Canada. *Remote Sens.* 2, 2313–2322. <https://doi.org/10.3390/rs2102313>
- Tourian, M.J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, Sh., Sneeuw, N., 2015. A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Remote Sens. Environ.* 156, 349–360. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.006>
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8, 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Tuttu, U., Kuter, S., 2020. 2017-2018 Türkiye Kar Sezonu İçin MODIS Etkili Kar Örtüsü Ürününün Sentinel 2 Görüntüleriyle Doğrulaması. *Bartın Orman Fakültesi Derg.* 22, 556–570. <https://doi.org/10.24011/barofd.694267>

- Ulaby, F.T., 1986. *Microwave Remote Sensing: Active and Passive, Volume I: Fundamentals and Radiometry*. Artech House Publishers, Norwood, Mass.
- ULRP, 2021. Urmia Lake Restoration Program. Getting to know Urmia Lake: Urmia Lake is a lake in the Azerbaijan region, which is located near the city of Urmia. Azarbayjan. Urmia Lake Restor. Program. URL <https://www.ulrp.ir> (accessed 4.23.23).
- ULRP, 2015. Urmia Lake Restoration Program: Brief Report and Projects Outline. Urmia Lake Restoration Program and Sharif University of Technology. Tahrán. Urmia Lake Restor. Program. URL <https://www.ulrp.ir> (accessed 4.23.23).
- Ünver, P.D.H.G.P.D.Ö., 1998. *Uygulamalı İstatistik Yöntemler*. İstanbul. Türkiye.
- Uppala, S.M., KÅllberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., Bechtold, V.D.C., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., Berg, L.V.D., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Hólm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P. a. E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J.-F., Morcrette, J.-J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J., 2005. The ERA-40 re-analysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131, 2961–3012. <https://doi.org/10.1256/qj.04.176>
- Valizadeh Kamran, K., Khorrami, B., 2018. Change Detection and Prediction of Urmia Lake and its Surrounding Environment During the Past 60 Years Applying Geobased Remote Sensing Analysis. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XLII-3-W4, 519–525. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-519-2018>
- Viviroli, D., Archer, D.R., Buytaert, W., Fowler, H.J., Greenwood, G.B., Hamlet, A.F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, M.I., López-Moreno, J.I., Lorentz, S., Schädler, B., Schreier, H., Schwaiger, K., Vuille, M., Woods, R., 2011. Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 471–504. <https://doi.org/10.5194/hess-15-471-2011>
- Vuyovich, C.M., Jacobs, J.M., Daly, S.F., 2014. Comparison of passive microwave and modeled estimates of total watershed SWE in the continental United States. *Water Resour. Res.* 50, 9088–9102. <https://doi.org/10.1002/2013WR014734>
- Wang, T., Fetzner, E.J., Wong, S., Kahn, B.H., Yue, Q., 2016. Validation of MODIS cloud mask and multilayer flag using CloudSat-CALIPSO cloud profiles and a cross-reference of their cloud classifications. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 121, 11,620–11,635. <https://doi.org/10.1002/2016JD025239>
- Wang, X., Xie, H., Liang, T., 2008. Evaluation of MODIS Snow Cover and Cloud Mask and its Application in Northern Xinjiang, China. *Remote Sens. Environ.* 112, 1497–1513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.016>
- Wang, X., Xie, H., Liang, T., Huang, X., 2009. Comparison and validation of MODIS standard and new combination of Terra and Aqua snow cover products in

- northern Xinjiang, China. *Hydrol. Process.* 23, 419–429. <https://doi.org/10.1002/hyp.7151>
- Warren, S.G., 1982. Optical properties of snow. *Rev. Geophys.* 20, 67–89. <https://doi.org/10.1029/RG020i001p00067>
- Yang, J., Jiang, L., Ménard, C.B., Luoju, K., Lemmetyinen, J., Pulliainen, J., 2015. Evaluation of snow products over the Tibetan Plateau. *Hydrol. Process.* 29, 3247–3260. <https://doi.org/10.1002/hyp.10427>
- Yin, X., Shi, J., Du, J., Lingmei, J., 2009. Evaluating snow depth in Western China based on passive microwave remote sensing, in: 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Presented at the 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, p. II-618-II-621. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2009.5418162>
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann–Kendall and Spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *J. Hydrol.* 259, 254–271. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)
- Yurtcu, Ş., 2016. Eber Gölü? nde Su Seviye Değişimleri İle Hidrometeorolojik Değişkenler Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analizi İle Tesbiti. *Yapı Teknol. Elektron. Derg.* 1, 37–45.
- Zarghami, M., 2011. Effective watershed management; Case study of Urmia Lake, Iran. *Lake Reserv. Manag.* 27, 87–94. <https://doi.org/10.1080/07438141.2010.541327>
- Zeinoddini, M., Bakhtiari, A., Ehteshami, M., 2015. Long-term impacts from damming and water level manipulation on flow and salinity regimes in Lake Urmia, Iran. *Water Environ. J.* 29, 71–87. <https://doi.org/10.1111/wej.12087>
- Zhang, Q., Cheng, J., 2020. An Empirical Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature From AMSR-E Data Considering the Comprehensive Effects of Environmental Variables. *Earth Space Sci.* 7, e2019EA001006. <https://doi.org/10.1029/2019EA001006>