

## SU KAYNAKLARININ YÖNETİMİNDE UYDU ÜRÜNLERİNİN ROLÜ VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Aynur Şensoy, Gökçen Uysal, Arda Şorman

Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü  
asensoy@eskisehir.edu.tr, gokcenuysal@eskisehir.edu.tr, asorman@eskisehir.edu.tr

### Özet

Uzaktan algılama ve uydu teknolojilerinde meydana gelen önemli ve hızlı ilerlemeler yeni ürünlerin geliştirilmesine olanak tanımakta ve bu ürünlerin farklı alanlarda kullanımını gündeme getirmektedir. Günümüzde uydu teknolojileri kullanarak hidrolojik döngünün neredeyse tüm elemanlarının doğrudan ve dolaylı ölçümlerini yapabilmektedir. Bu elemanlar arasında, yağış, toprak nemi, kar, su seviyeleri, evapotranspirasyon gibi önemli durum değişkenleri yer almaktadır. Özellikle yer ölçümlerinin çok zor koşullarda ve yüksek maliyetlerle gerçekleştirilebildiği noktalarda, uydu ürünlerinin kullanımı önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu uydu ürünlerinin, su kaynaklarının planlanmasına, geliştirilmesine ve yönetilmesine yardımcı olmak üzere nehir akımlarının modellenmesinde doğrudan ya da dolaylı olarak kullanılması ve model performanslarını iyileştirmesi söz konusudur. Uzaktan algılama teknolojinin bir sonucu olarak elde edilen uydu ürünlerinden bazıları operasyonel olarak gelişme aşamasında olmasına rağmen, geniş kapsama alanları ve yüksek zamansal çözünürlükleri ile neredeyse gerçek zamanlı olarak ve küresel ölçekte veri sağlayabilmektedirler. Bu çalışmada, uydu teknolojisine dayalı yağış, kar ve toprak nemi verilerinin önemine ve gerekliliğine atıfla, su kaynakları alanında kullanılmasına dair uygulama örnekleri sunulmaktadır. Bu uygulamalar arasında, uydu ürünü olarak yağış, kar ve toprak nemi verilerinin, hidrolojik etki ve doğrulama çalışmalarında, kısa-uzun vade akım tahminlerinin modellenmesinde, modelleme yaklaşımlarının doğruluğunun artırılıp belirsizliklerin azaltılmasında (model çoklu kalibrasyonunda, veri asimilasyonunda), taşkın ve kuraklık yönetim planlarında, iklim değişimi projeksiyonlarının ve senaryolarının oluşturulmasında, rezervuar yönetimi alanlarında kullanılması yer almaktadır. Çalışma özellikle yakın zamanda ülkemizde gerçekleştirilen uygulama örneklerini kapsamakta ve değerlendirmeleri içermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Su Kaynakları, Uydu Ürünü, Yağış, Karla Kaplı Alan, Kar Su Eşdeğeri

## THE ROLE OF SATELLITE PRODUCTS IN WATER RESOURCES MANAGEMENT AND APPLICATION EXAMPLES

### Abstract

Significant and rapid advances in remote sensing and satellite technologies enable the development of new products and bring to the agenda the use of these products in different areas. Today, direct and indirect measurements of almost all elements of the hydrological cycle can be made using satellite technologies. These elements include important situation variables such as precipitation, soil moisture, snow, water levels and evapotranspiration. The use of satellite products provides significant advantages, especially at points where ground measurements can be carried out under very difficult conditions and at high costs. These satellite products can be used directly or indirectly in modeling river flows and improving model performances to help plan, develop and manage water resources. Although some of the satellite products obtained as a result of remote sensing technology are in the operational development stage, they can provide data in almost real time and on a global scale with their wide coverage areas and high temporal resolution. In this study, application examples of its use in the field of water resources are presented, referring to the importance and necessity of satellite technology-based rainfall, snow and soil moisture data. Among these applications, satellite product rainfall, snow and soil moisture data are used in hydrological impact and verification studies, modeling of short-long term flow forecasts, increasing the accuracy of modeling approaches and reducing uncertainties (model multiple calibration, data assimilation), flood and drought management plans, it is used in creating climate change projections and scenarios and in reservoir management areas. The study covers application examples and evaluations that have been recently implemented in our country.

**Keywords:** Water Resources, Satellite Product, Precipitation, Snow Cover, Snow Water Equivalent

**Sorumlu Yazar:** Aynur Şensoy

**Geliş Tarihi:** 3 Nisan 2024

**Kabul Tarihi:** 31 Mayıs 2024

**Yayın Tarihi:** 3 Temmuz 2024

**Atıf Şekli:** Şensoy, A., Uysal, G., Şorman, A. (2024). Su Kaynaklarının Yönetiminde Uydu Ürünlerinin Rolü ve Uygulama Örnekleri, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 1(1), 1-12.

**Makale Tipi:** Derleme

**e-ISSN:** 3023-8560

## GİRİŞ

Suyun mekansal ve zamansal dağılımındaki farklılık suyun kullanımı ve kontrolünü konusunda planlama ve yönetim stratejileri geliştirmeyi gerektirmektedir. Dağılımdaki bu farklılığın yanı sıra artan dünya nüfusu ve gündemimizin önemli bir maddesi olan küresel ısınma ve iklim değişimi sonucu üretilen senaryoların önümüze koyduğu gerçekler, su kaynaklarının planlanmasını ve yönetimini her zamankinden de önemli bir hale getirmiştir. Geniş bir coğrafyaya yayılan ve çeşitli iklim kuşaklarına sahip olan ülkemizde taşkın ve kuraklık gibi uç olayları daha sık ve aynı anda yaşayabilmekteyiz.

Su kaynaklarının etkin ve güvenli yönetimi için havzanın mabadan mansaba kadar ayrılmaz bir bütün olarak gözlenmesi, modellenmesi, akım tahmini yapılması, amaca uygun yönetim stratejileri geliştirilmesi, yönetim planlarının ortaya konulması, takip ve güncelleme çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Bu hedefe varabilmek için disiplinler arası ve çok disiplinli çalışmaların gerçekleştirilmesi, özellikle uygulayıcı ve araştırmacıların birlikte çalışması önemlidir.

Hidrolojik modelleme uygulamaları, taşkın ve kuraklık yönetim planlarının oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, su tahsisleri, baraj işletmesi, iklim değişimi etki ve adaptasyon çalışmalarında da kullanılmaktadır. Su kaynakları alanındaki model uygulamalarında diğer alanlarda olduğu gibi girdi değişkenleri, başlangıç ve/veya sınır koşulları ve model parametreleri modele sağlanmaktadır. Uydu ürünleri bu modellerin girdilerini oluşturmak, modelin başlangıç ya da durum değişkenlerini belirlemek, modelin performansını ve/veya güvenilirliği artırmak amacıyla kullanılabilir. Uydu verileri yer gözlemleri ile birlikte kullanılabilir, ayrıca model durum değişkenlerini ya da model çıktılarını iyileştirmek üzere veri asimilasyonu çalışmalarında da kullanılabilirler (Dong, 2018).

Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde kullanılan uzaktan algılama tabanlı ürünler arasında; yağış, toprak nemi, karla kaplı alan, kar su eşdeğeri, albedo, evapotranspirasyon, yüzey sıcaklığı, bitki örtüsü, arazi kullanımı, ve taşkın alanı sayılabilir. Bilimsel çalışmalarda uydu ürünü olarak özellikle yağış, toprak nemi ve kar ürünlerinin ön plana çıktığı görülmektedir.

Ürünlerin su kaynaklarında kullanımından önce istasyon gözlemlerine dayalı doğruluk analizlerinin yapılması, daha sonra da hidrolojik modeller yoluyla etki değerlendirmesi ve/veya hidrolojik doğrulama çalışmalarının gerçekleştirilmesi söz konusu olmaktadır. Özellikle gözlem ağının yetersiz ya da kısıtlı olduğu havzalarda uydu ürünlerinin kullanımı önemli bir katkı sağlamaktadır. Noktasal temsiliyetin yeterli olmadığı karmaşık topoğrafik ve zor iklim koşullarında, iyi bir mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip uydu ürünlerinin, değerlendirilmesi istenen değişkeni daha iyi temsil edebildiği görülmektedir. Yer ve uydu gözlemleri çoğu zaman birlikte kullanılmakta, model çalışmalarında doğrulama ve veri asimilasyonu yoluyla akım tahminleri gerçekleştirilmekte ve bu da baraj haznelerinin kontrolünü de içeren karar destek sistemlerinin geliştirilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde kullanılmakta olan uydu ürünlerine, bu ürünlerin getirdikleri yeniliklere ve avantajlara, ayrıca bu konuda özellikle ülkemizde yapılmakta olan çalışma ve uygulama örneklerine yer verilmiştir. Ülkemiz genelinde farklı havzalarda kullanım örneklerine yer verilmekle birlikte akım tahmini için yürütülen çalışmaların çoğu birçok ulusal ve uluslararası projede pilot havza olarak kullanılan Yukarı Fırat (Karasu) Havzasında (10.250 km<sup>2</sup>) gerçekleştirilmiştir (URL-1). Seçilen pilot havza Fırat Nehri üzerinde ve akış yukarısında yer almaktadır, kar yağışı ile beslenen bir bölge olması, akış aşağısında önemli barajların yer alması ve sınır aşan sular kategorisinde bulunmasından dolayı önemli bir konuma ve özelliklere sahiptir. Havza üzerinde uzun yıllardır yürütülen ulusal (BAP, DPT, TÜBİTAK, vb) ve uluslararası projeler (EUMETSAT H SAF, Web-2, ve COST ES1404, Web-3) nedeniyle önemli bir deneyim kazanılmış, ülkemizin Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri gibi önemli devlet kurumları ile yürütülen işbirlikleri/protokoller ve çeşitli proje destekleri ile gözlem ağlarının güçlendirilmesi sağlanmış, çok sayıda lisansüstü çalışmanın ve yayınların gerçekleştirilmesi ve bunun yanı sıra bölgede çalıştay ve uluslararası arazi

çalışmalarının yapılması mümkün olmuştur. Çalışmalarda tek bir ürün yerine farklı alansal, zamansal ve tayfsal çözünürlüklere sahip ürünler çoklu olarak kullanılmıştır. Örnekler arasında, uydu yağış, kar ve toprak nemi ürünleri ile yapılan çalışmalar yer almaktadır.

### UYDU YAĞIŞ ÜRÜNLERİ VE KULLANIM ÖRNEKLERİ

Taşkın, kuraklık, depolamalı su yapılarının tasarımı, işletmesi, hidroelektrik enerji üretimi, sulama, iklim değişimi gibi farklı çalışmaların temel bileşeni hiç kuşkusuz yağıştır. Bu nedenle de, su kaynakları alanlarındaki çalışmalarda kullanılan en önemli model girdisi ve meteorolojik değişken yağıştır. Bahsi geçen farklı amaçlara yönelik çalışmalarda yağış-akış ilişkisini kurgulamak için çeşitli kavramsal, fiziksel veya veriye dayalı yaklaşımlar ve modeller geliştirilmiş bulunmaktadır. Yer gözlemleri ile ölçülen bilgilere dayanan alansal ortalama yağış verileri, hidrolojik model performansları üzerinde en büyük etkilerden birine sahiptir (Kidd vd., 2017). Diğer taraftan, alan ve zamandaki yüksek değişkenliği nedeniyle yer gözlemlerine dayalı yağış verisi önemli bir belirsizlik kaynağıdır (Sun vd., 2018). Günümüzde yağışı ölçmek için genellikle üç yöntem kullanılmaktadır, bunlar: meteorolojik istasyon gözlemleri, radar gözlemleri, uydu gözlemleridir (Ashouri vd., 2015, Liu vd., 2017).

Uzaktan algılama prensibine dayalı radar gözlemleri kullanılarak yüksek çözünürlükte ve yakın gerçek zamanlı olarak yağış verisi elde etmek mümkündür. Ancak, radarların sayıca sınırlı olması, yansıtma değerlerinin sayısallaştırılmasındaki zorluklar, topoğrafyanın sinyalleri engellemesi ve radarın taradığı alan ve zamansal kısıtları, radar verilerinin küresel veya geniş ölçekli alanlarda kullanımını sınırlamaktadır (Yılmaz vd., 2017). Öte yandan, mikrodalga temelli yağış algoritmaları geliştirilen mekansal ve zamansal çözünürlükleri de dikkate alındığında gün geçtikçe daha çok uygulama alanı bulduğu da görülmektedir.

Kurulması ve işletilmesi zor olduğu için nispeten sınırlı bir gözlem ağına sahip olan dağlık havzalarda kar erimesine dayalı akışın tahmin edilmesi zorlu bir işittir. Türkiye'nin doğusundaki oldukça yüksek ve karmaşık arazilerde, ölçüm ağının oluşturulması ve sürekliliğinin sağlanılmasının da zorluğu gözetilerek, yüksek alansal ve zamansal çözünürlükte uydu yağış gözlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerek önemli su yapılarının yer alması gerekse kar potansiyelinin yüksek olması nedeniyle bölgedeki gözlemler ve akım tahmin çalışmaları ayrı bir önem arz etmektedir.

Yakın zamanda yapılan çalışmalarda, Hafizi ve Şorman (2023; 2022) ve Uysal ve Şorman (2021) farklı uydu yağış ürünlerinin tutarlılıkları ve hidrolojik uygulamalardaki faydaları değerlendirilmiştir. Hafizi ve Şorman, (2022) 13 tane farklı ve hücresele yağış veri setini (GPDs) (CPCv1, MSWEPv2.8, ERA5, CHIRPSv2.0, CHIRPv2.0, IMERGHFv06, IMERGHHEv06, IMERGHHLv06, TMPA-3B42v7, TMPA-3B42RTv7, PERSIANNCDR, PERSIANN-CCS, and PERSIANN) günlük olarak değerlendirmiş ve 2015-2019 yılları arasında dağlık Karasu Havzasında (38° 58' D - 41°39' D ve 39°23' K - 40°25' K, 10 250 km<sup>2</sup>) kullanmıştır. Bunlardan uydu ürünleri olanlarıyla ilgili özet bir bilgi Tablo 1'de yer almaktadır. Çalışmada yağış-akış ilişkisini modellemek için TUW modeli günlük zaman aralığı ile uygulanmıştır ve havza çıkışında yer alan E21A019 numaralı akım gözlem istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bu çalışmaya göre, Türkiye'nin dağlık doğu kesiminde yer alan Karasu nehir havzasında MSWEPv2.8 ve CHIRP(S)v2.0 ürünleri diğer seçilmiş uydu ürünlerine göre daha iyi performans göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek alansal ve zamansal çözünürlüklü yer bilgisi ile uydu tabanlı yağış ürünlerinde *yanlılık düzeltmesi* önerilmektedir. Genel olarak, günlük toplam yağışı tespit etmede zaman ve alan açısından seçilen ürünlerin çoğu düşük bir performans gösterse de, bazıları günlük ortalama akımları doğru bir şekilde simüle etmektedir. Ayrıca, her veri kümesi için ayrı ayrı model kalibrasyonu yapılarak model parametreleri kalibre edildiğinde uydu ürünlerinin akımı daha iyi simüle ettiği görülmektedir. Yüksek alanlarda daha fazla Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGI) verisi ile daha uzun süreler için doğruluk testleri yapılabilir ancak çalışmadaki bulgular, Türkiye gibi karmaşık topografyaya sahip bölgeler ve dünyanın diğer benzer bölgeleri için mevcut literatüre değerli bir katkı sağlamaktadır.

**Tablo 1.** Kullanılan uydu yağış veri setlerinin özellikleri (Hafizi ve Şorman, 2022)

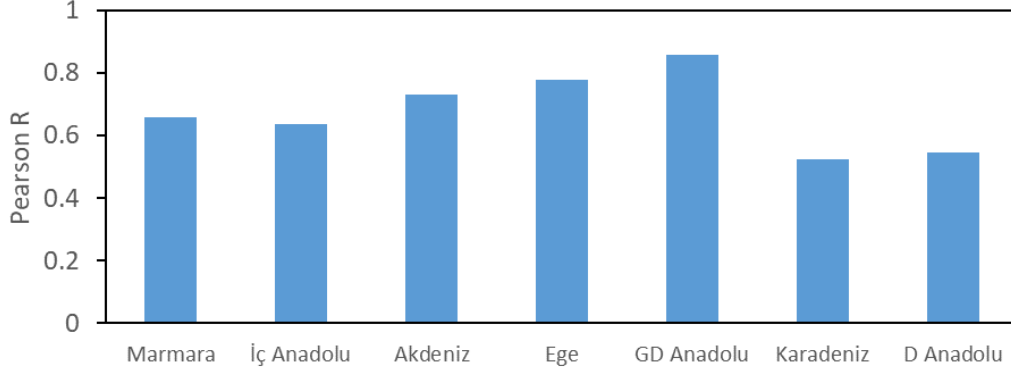
Veri Seti	Alansal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Veri Aralığı
PERSIANN-CCS	0.04°	Saatlik	2003-
CHIRPSv2.0	0.05°	Günlük	1981-
CHIRPv2.0	0.05°	Günlük	1981-
IMERGHHFv06	0.10°	30 dk	2014-
IMERGHHEv06	0.10°	30 dk	2014-
IMERGHHLv06	0.10°	30 dk	2014-
MSWEPv2.8	0.10°	3-saatlik	1979-
TMPA-3B42v7	0.25°	3-saatlik	2000-
TMPA-3B42RTv7	0.25°	3-saatlik	1998-
PERSIANN	0.25°	Saatlik	2000-
PERSIANN-CDR	0.25°	Günlük	1983–2016

Uysal ve Şorman (2021) yine aynı pilot havzada yaptıkları çalışmada, PERSIANN ve PERSIANN-CDR'nin çeşitli zaman çözünürlüklerinde (mevsimlik ve aylık zaman ölçekleri) performanslarını incelemiştir. Çalışmada PERSIANN-CDR, PERSIANN ile karşılaştırıldığında, MGİ'de ölçülen yağışlarla daha uyumlu olduğu. Her iki ürün için de, karın baskın olduğu bölge üzerinde uygun bir yanlışlık düzeltmesinden sonra günlük akış simülasyonu için yüksek performanslı sonuçlar elde edilmiştir.

Bir başka yakın tarihli çalışmada Hafizi ve Şorman (2023) farklı veri kaynaklarına (çoklu, uydu, yeniden analiz) sahip beş güncel küresel yağış veri setinin (MSWXv100, MERRA-2, CFSR, SM2RAIN-ASCAT, PDIR-Now) performansını, 130 MGİ'den alınan yer verilerinden yararlanarak değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, tüm Türkiye ve yedi farklı coğrafi bölgedeki iklim değişkenliği beş su yılı (2015–2019) için günlük ve aylık zaman adımlarında dikkate alınmıştır. Bu çalışma, tüm bölge ve yedi coğrafi bölge göz önüne alındığında, çok kaynaklı MSWXv100 ve MERRA-2'nin yanı sıra yeniden analiz edilen CFSR ürünlerinin Türkiye'deki diğer seçilmiş yağış ürünlerine göre daha iyi performans gösterdiğini doğrulamaktadır. Sonuçlar, algoritmalarında yer gözlem verisine yer veren yağış ürünlerinin az farkla da olsa daha iyi performans gösterebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla bilgi kaynağı, düzeltme süresi penceresi ve kullanılan ölçüm cihazı sayısı, nihai ürünün tutarlılığını önemli ölçüde etkileyen faktörler olarak değerlendirilmiştir.

Öte yandan EUMETSAT tarafından desteklenen H SAF projesinde de yağış ürünleri üretilmekte ve kullanıma sunulmaktadır. Bu konuda da Türkiye ve Avrupa için çeşitli doğrulama çalışmaları yürütülmektedir (Puca vd., 2014).

Aşağıdan yukarıya bir algoritma uygulaması ile elde edilen SM2RAIN ürünü farklı bir uydu yağış ürünü için örnek olarak verilebilir. Bu ürün Brocca ve diğ (2014) tarafından önceki yağış miktarlarını çıkarmak için mikrodalga uydu sensörleri tarafından algılanan toprak nemindeki (SM) değişiklikleri kullanan yeni bir "aşağıdan yukarıya" yaklaşım önerilmiş, başka bir deyişle toprak doğal yağmur ölçer olarak kullanılmıştır. SMRAIN-ASCAT yağış ürünü, ASCAT uydusu toprak nemi verilerinin SM2RAIN algoritması ile yağışa çevirilmesi ile elde edilen bir üründür. Bu ürünün Türkiye genelinde doğrulanması ve hidrolojik model uygulaması Jaber (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Coğrafi bölgelere göre yapılan analizlerde elde edilen istatistiksel başarımların yer aldığı bir özet Şekil 1'de sunulmaktadır. Toplam 105 MGİ'de yapılan karşılaştırmada, aylık ilişkilerde  $R=0.6-0.8$  arasında sonuçlar elde edilmiştir. Bu veri aynı zamanda Gediz'deki bir alt havzada hidrolojik model uygulamasında kullanılmış verinin akım simülasyonundaki başarısı değerlendirilmiştir. Gerek doğrudan ürün doğrulanması gerekse modellemeye dayalı hidrolojik doğrulama sonuçları yanlışlık düzeltmesinin gereğine işaret etmektedir.



Şekil 1. SM2RAIN ürününün yer gözlemleri ile kıyası (Jaber, 2020)

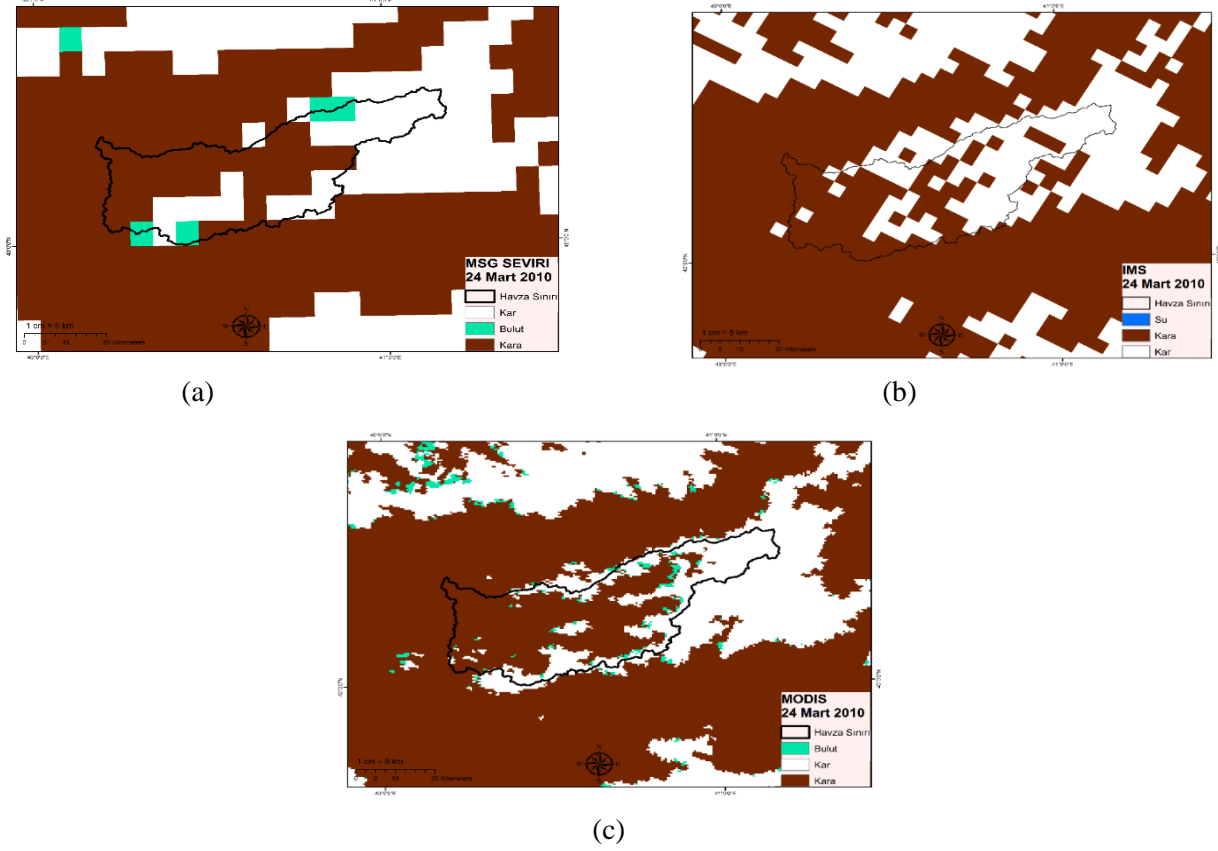
### UYDU KAR ÜRÜNLERİ VE KULLANIM ÖRNEKLERİ

Ülkemizin ortalama yüksekliği 1140 m ve eğimi %20.5'tir ve bu nedenle kar potansiyeli su kaynakları planlama ve yönetimi konularında önemli bir yer tutmaktadır (Açıkyol, 2022). En etkili iki kar değişkeni olan karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri, farklı uydu ürünleri ile izlenebilmektedir. Her ikisinin de alansal ve zamansal değişiminin takip edilmesi ve hidrolojik uygulamalarda farklı şekillerde kullanılarak kar erimesine bağlı akımların tahmin edilmesi önemli bir konudur.

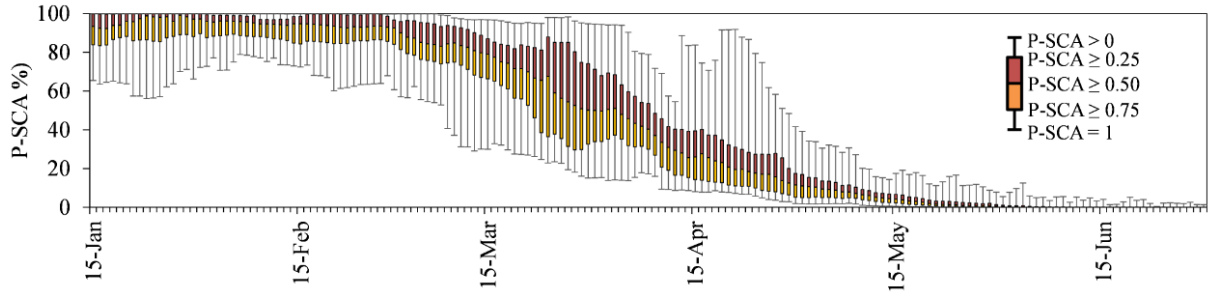
Karla kaplı alan genellikle optik uydu ürünleri ile tespit edilebilmektedir. Farklı alansal, zamansal ve tayfsal çözünürlüklere sahip uydu ürünleri bulunmaktadır, bu özellikler kullanılan alana ve çalışmanın amacına bağlı olarak avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır. Doğan (2018) tarafından Çoruh Havzası'nın bir alt havzası olan Bayburt Havzası'nda yapılan bir çalışmada 24 Mart 2010 tarihi için karla kaplı alanı tespit etmek için farklı ürünlere örnekler sunulmuştur (Şekil 2). H SAF ürünlerinden birisi olan ve kar tanımlama ürünü olarak geliştirilen SEVIRI (H10)'nin çalışma bölgesindeki çözünürlüğü (5 km), birleştirilmiş bir uydu ürünü olan IMS 4 km ve MODIS 500 m çözünürlüğe sahiptir. En iyi çözünürlüğe sahip olan MODIS uydu görüntüsü bulutluluk nedeniyle dezavantajlı iken, IMS ve kısmen SEVIRI bu konuda avantajlıdır. Büyük alana sahip havzalarda düşük mekansal çözünürlük bir dezavantaj olmazken daha küçük alanlara sahip havzalarda iyi bir çözünürlük önem kazanmaktadır. Öte yandan bu uydu ürünlerinin yer gözlemleri ile doğrulanarak güvenilirliklerinin ve hata oranlarının belirlenmesi de önemlidir.

Karla kaplı alan ürünleri kullanılarak bir havza ya da bölge (ülke) genelinde kar birikme ve çekilme eğrileri elde edilebilmektedir. Maksimum, minimum ve ortalama olarak çıkartılabilen bu eğriler havzanın kar örtüsünün değişimine dair önemli karakteristik bilgiler sunmaktadır. Karla kaplı alan haritaları kullanılarak elde edilen olasılık haritaları gerek olası kar potansiyeli ile ilgili bilgi vermekte gerekse hidrolojik uygulamalarda bir öngörü sunabilmektedir (Şekil 3). Şekilde Karasu Havzasında farklı persentil değerlerine göre karla kaplı alanın çekilme eğrileri sunulmuştur, karla kaplı alanın maksimum değerlere ulaştığı şubat ayında önemli bir saçılma görülmezken erime döneminde özellikle 15 Mart-01 Mayıs aralığında uç değerlerdeki geniş saçılmalar dikkat çekmektedir. Kar çekilme eğrileri, ayrıca, kar kenar çizgisinin elde edilmesi konusunda da belirleyici olmaktadır.

Hidrolojik uygulamalarda kullanılmak üzere Avrupa uydularından yeni ürünlerin elde edilmesi amacını taşıyan EUMETSAT destekli H SAF (URL-2) projesinde farklı kar ürünleri üretilmektedir. Düz/ormanlık ve dağlık alanlar gözetilerek üretilen ve sonunda birleştirilerek sunulan bu ürünlerden en çok kullanılan iki tanesi kar belirleme (SE-E-SEVIRI(H10)) (Şekil 4a, b) ve kar su eşdeğeri (SWE-E-(H13)) ürünleridir (Şekil 4c, d). Projeden üretilen karla kaplı alan ürünleri farklı modellerde kullanılarak hem etki çalışmaları hem de hidrolojik doğrulama analizlerinde kullanılmaktadır (Şensoy vd., 2023).

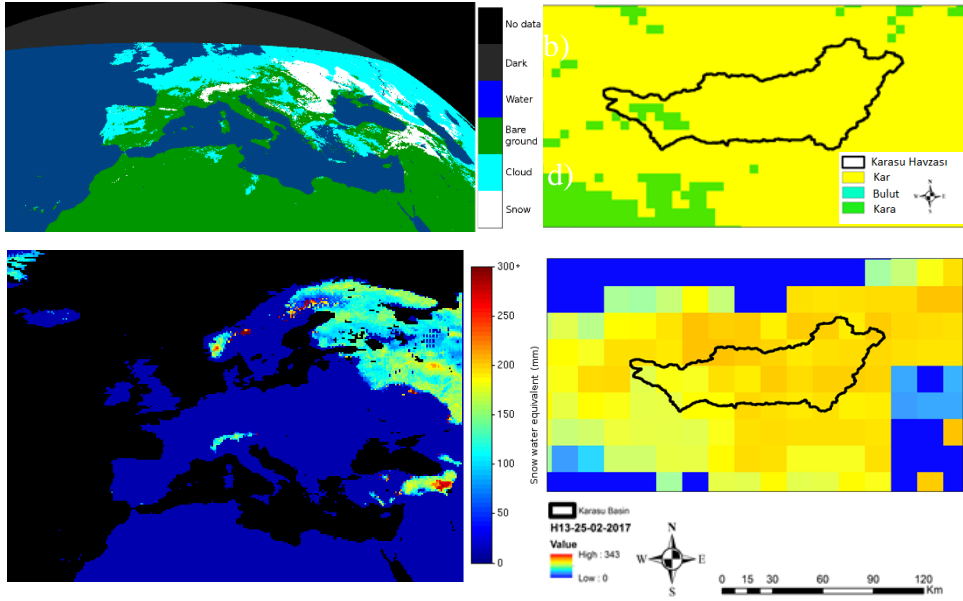


Şekil 2. Karla kaplı alan a) SEVIRI b) IMS c) MODIS (Doğan, 2018)



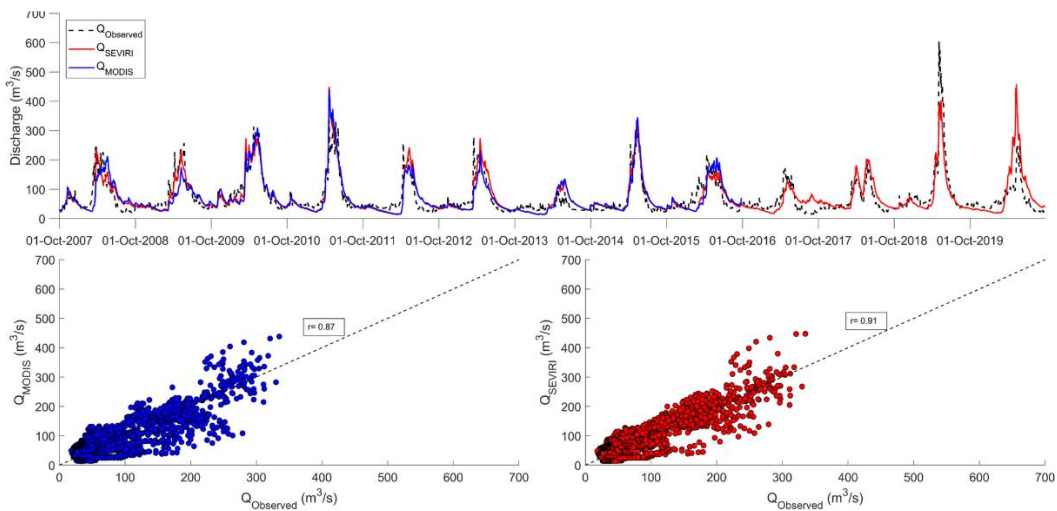
Şekil 3. MODIS'ten üretilen olasılıklı kar çekilme eğrisi (Şorman ve diğ., 2019)

Kar su eşdeğeri ürünleri karla kaplı alandan farklı olarak karın su içeriğine dair bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle hidrolojik çalışmalarda önemli bir yeri bulunmaktadır. Uzaktan algılamadaki kar su eşdeğeri ölçümleri mikrodalga sensörlerle yapılmaktadır. Algoritma, karda farklı penetrasyona sahip frekanslardaki kanalların mikrodalga parlaklık sıcaklıklarının kullanımına dayanır. Karın kuru veya ıslak olmasına bağlı olarak penetrasyon değişir. H SAF projesinde de elde edilen kar su eşdeğeri ürünlerinde düz/ormanlık alanlar ve dağlık bölgeler için yöntem ve performans farklı olabilmektedir. Dağlık bölgeler için geliştirilen algoritmada kar yoğunluğunun ve kar özelliklerinin tane boyutuna göre yükseklik ve zaman ölçeğine göre değişimi dikkate alınmaktadır. Alonso-González vd., (2022) yaptıkları çalışmada H SAF kar su eşdeğeri ürününün (H13) yeniden analiz verileri ile karşılaştırmasını sunmuşlardır.



**Şekil 4.** H SAF Kar ürünleri a) SE-E-SEVIRI(H10) ve b) Karasu karla kaplı alan haritası c) SWE-E-H13 ve d) Karasu SWE haritası (25 Şubat 2017)

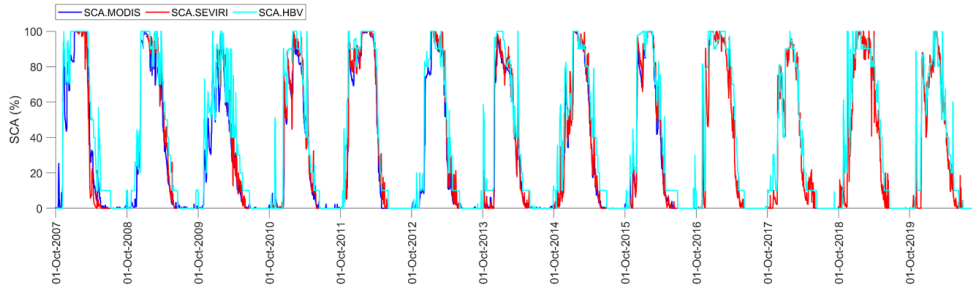
Hidrolojik model uygulamalarında SRM (Martinec, 1975), HBV (Bergström, 1976) ve HEC-HMS (USACE, 2018) gibi kavramsal modeller tercih edilmektedir. Kavramsal modellerde genellikle derece gün metodu ile kar erimesi hesaplanmakta, ayrıca sıcaklık ve yağış değişimlerini daha iyi temsil edebilmek için havza yükseklik aralıklarına bölünerek çalışılmaktadır. SRM modeli diğer kavramsal modellerden farklı olarak karla kaplı alanı ana girdilerden biri olarak almaktadır ve günlük ortalama debilerin simülasyonunda ve tahmininde kullanılmaktadır. Şekil 5’de SRM (Martinec, 2008) modeli ile yapılan etki çalışması sonuçları sunulmaktadır (Şensoy vd., 2023a). Bu şekilde, en kurak yıllardan biri olan 2014 su yılındaki düşük akımlar ve özellikle 2015 su yılındaki tahminde edilen yüksek tutarlılık dikkat çekmektedir. Bu çalışmada H SAF ürünü SEVIRI ile MODIS ürünleri karşılaştırılmaktadır ve SEVIRI’nin kullanım avantajları ortaya konulmaktadır.



**Şekil 5.** SRM modeli ile etki çalışmaları, SE-E-SEVIRI(H10) ve MODIS (2008-2020) (Şensoy vd., 2023)

Kar erimesi konusunda dünyada en yaygın kullanılan modellerden bir tanesi de HBV’dir. Modelin temel girdi değişkenleri günlük toplam yağış, ortalama sıcaklık ve evapotranspirasyondur. Bu model uygulaması ile hem model çıktısı olarak akımlar hem de durum değişkeni olarak kar su eşdeğeri (ve ona bağlı olarak karla kaplı

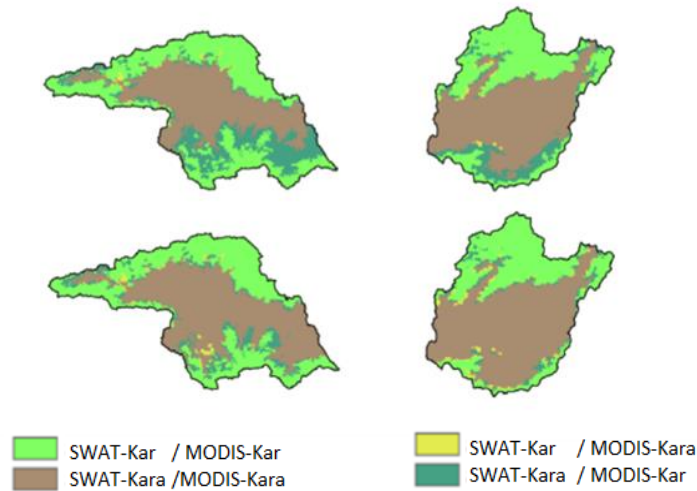
alan) ve toprak nemi simüle edilebilmektedir. Bu model değişkenlerinin de bağımsız ölçümler olarak uydu tabanlı karla kaplı alan ve/veya toprak nemi ürünleri ile karşılaştırılması modelin iç tutarlılığını ve buna bağlı olarak da güvenilirliğini arttırmaktadır. Şekil 6'da 2008-2020 su yılları için model uygulama sonuçları uydu ürünleri ile elde edilen karla kaplı alan değerleriyle kıyaslanmış halde görülebilir.



**Şekil 6.** HBV modeli ile doğrulama çalışmaları, karla kaplı alan (SCA) için model, SE-E-SEVIRI(H10) ve MODIS karşılaştırması (2008-2020) (Şensoy vd., 2023)

Şensoy ve diğ (2023b) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise yine modellerin (HBV ve HEC-HMS) içsel doğruluğu kar ürünleri ile test edilerek iklim projeksiyon verileri (CNRM, EC-EARTH, HadGEM2, IPSL, MPI, NorESM Küresel Çevrim Modelleri ve RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları) 2100 yılına kadar olan dönem için kullanılarak akım ve kar projeksiyonları gerçekleştirilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Bölgedeki karla kaplı alan ve kar su eşdeğerinin özellikle havzaların mansap bölgelerinde önemli miktarda azalacağına dair çıkarımlar yapılmıştır.

Çeşitli hidrolojik model uygulamalarında model girdi veya çıktısı olarak karla kaplı alan ürünleri kullanılmıştır. Bunlara bir örnek olarak Peker ve Şorman (2021) tarafından yapılan çalışma sunulabilir. SWAT modeli ile yapılan dağılımlı model uygulamasında, akım tahminleri gerçekleştirilmiş ve gözlenen akımlarla kıyaslanmıştır. Bir başka model çıktısı olan karla kaplı alanlar gözlenen uydu görüntüleri (MODIS) ile kıyaslanmıştır (Şekil 7).

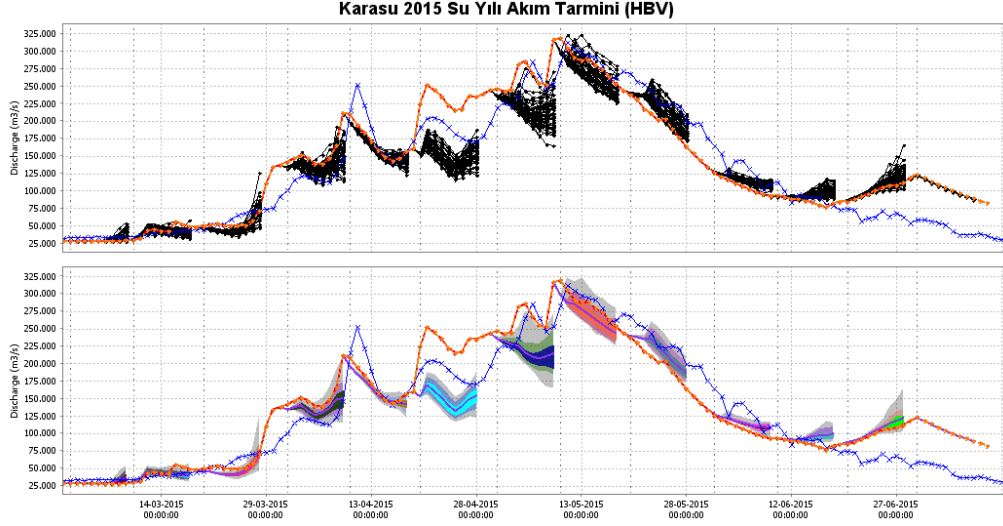


**Şekil 7.** SWAT ve MODIS karşılaştırması (8 Nisan 2004) Yukarı Murat (solda) ve Yukarı Karasu (sağda) Havzaları (Peker ve Şorman, 2021)

Modelleme çalışmalarında sayısal hava tahmin verileri kullanılarak akım tahminleri de yapılmaktadır. Ensemble Sayısal Hava Tahminlerine (EPS) dayalı çalışmalara bir örnek Şekil 8'de sunulmuştur. Deterministik tahminlere göre en büyük avantajları daha uzun ve belirsizliğin görülebildiği olasılıklı sonuçlar sağlayabilme fırsatı sunan ECMWF tarafından sunulan IFS Sayısal Hava Tahmin Modeli'nin 51 üyeli EPS yağış ve sıcaklık verileri ile



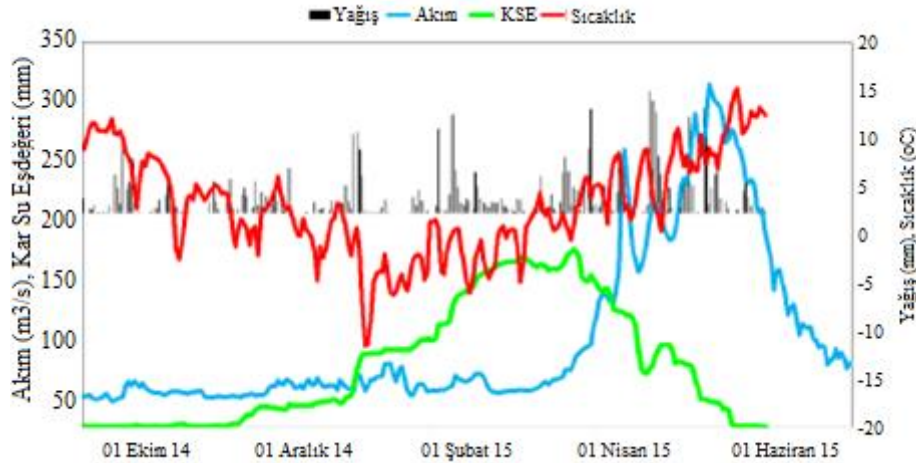
akımlar 1-9 gün aralığında eşit olasılığa sahip 51 ihtimalle üretilebilmektedir. Bu ve benzeri çalışmalarda model parametrelerinin belirlenmesinde uydu verilerinin kullanıldığı, çok kriterli model kalibrasyonları (Oğulcan vd., 2023) ya da kısa vadeli tahminleri iyileştirmek üzere çeşitli veri asimilasyonu (Alvarado-Montero vd., 2022) yaklaşımları kullanılabilir.



Şekil 8. Karasu Havzası EPS uygulaması (Mavi: Gözlenen, Kırmızı: Modellenen), 2015

MODIS karla kaplı alan ürünleri farklı model yaklaşımları kullanılarak akımların tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Bu model yaklaşımlarından bir tanesi de veri güdümlü çalışan Yapay Sinir Ağı model yaklaşımıdır. Model yapısı kurgulanırken karla kapalı alan verisi yağış ve sıcaklık gibi temel girdi değişkenlerinden birisi olarak sunulmuştur. Bu girdinin günlük ortalama akım tahminlerini iyileştirdiği gösterilmiştir (Uysal vd., 2016).

Modelleme çalışmalarında, sonuçların doğrudan kar su eşdeğeri olarak alındığı ve akımların hesaplanmadığı kar modelleri de kullanılabilir. Bu çalışmalarda da derece gün yaklaşımı, kütle ve enerji dengesi metodu ya da hibrit olarak ikisi birlikte kullanılabilir. Bu model yaklaşımları bir noktada ya da dağılımlı olarak tüm havzada sonuç üretebilmektedir. Şekil 9'da SNOW17 modeli ile yapılan bir uygulamada elde edilen kar su eşdeğeri sıcaklık, yağış ve akım ilişkisi içinde sunulmuştur (Ertaş, 2020).



Şekil 9. SNOW17 model, kar su eşdeğeri sonucu (Ertaş 2020)

## SONUÇLAR

Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde yer gözlemlerine dayalı veriler çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Ancak gelişen teknoloji ile bu çalışmalarda kullanılan değişkenlerin önemli bir kısmı uydu ürünleri ile de elde edilebilmektedir. Yeryüzünde noktasal olarak ölçüm yapan MGİ'lerden alınan yer gözlemlerine kıyasla, uzaktan algılama ürünlerinin, söz konusu değişkenin alansal ve zamansal dağılımını ve yine mekansal ve zamansal değişikliklerini tespit etmek konusunda avantajlar sağladığı görülmektedir. Bu durum yer gözlemlerinin değerini azaltmamaktadır, özellikle uydu ürünlerinin ilk kullanımında doğrulama amaçlı olarak yer gözlemlerinden yararlanılmaktadır. Yer gözlemlerinin nitelik, nicelik ve temsiliyet olarak kısıtlı sağlanabildiği karmaşık topoğrafyalarda uydu ürünlerinin kullanımı uygulamalarda önemli katkılar sağlamaktadır. Çok çeşitli hidrolojik uygulamada gerek duyulan temel değişken olan yağışın radarlar ve uydularla yakın gerçek zamanlı tespit edilmesi mümkündür. Bunların yanı sıra, bu ürünlerin de kullanımı ile elde edilen yeniden analiz ürünleri de çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, farklı kuruluşlar ve araştırma ekipleri tarafından üretilen uydu yağış ürünlerinin yer gözlemleri ile kıyası ve modellerde kullanımı üzerine örnekler sunulmuştur. Son dönemde doğrudan uydu yağış ürünlerinin yanı sıra uydu toprak neminden üretilen yağış ürünleri de uygulama alanı bulmaktadır (Koochi vd., 2021, Pradhan ve Indu, 2021, Lai vd., 2022).

Ülkemizin ortalama yüksekliği, topoğrafyası ve özellikle Doğu Anadolu Bölgesinin dağlık kesimleri ülkemiz için kar potansiyelinin önemine işaret etmektedir. İklim ve topoğrafik şartlar nedeniyle yer gözlem ağının kurulmasının ve işletilmesinin zor olduğu bu bölgelerde uydu ürünlerinden elde edilen karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri verileri modellerde farklı şekillerde kullanılabilir. Ülkemizin de içinde yer aldığı ve MGM koordinasyonunda çeşitli üniversitelerin (ODTÜ, ESTÜ, İTÜ) katkıları ile yürütülen EUMETSAT H SAF projesinde kar ürünleri üretilmekte ve doğrulama çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada, karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri konularında etki ve doğrulama çalışmalarına örnekler sunulmuştur. Ayrıca, bu ürünler modellerin içsel doğruluğunu tespit etmek için de kullanılabilir. HBV modelinin kullanıldığı bir çalışmanın sonuçları buna örnek olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada yer verilemese de diğer örneklerde bu uydu verileri çoklu model kalibrasyonu yapmak üzere kullanılabilir. Model güvenilirliğini artırmak ve belirsizlikleri azaltmak için bu uygulama çeşitli avantajlar sunabilmektedir. Diğer taraftan, veri asimilasyonu ile tahminlerin iyileştirilmesi aşamasında da bu ürünlerden yararlanılabilmektedir.

Kısaca, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi konularında uygulamaya alınan hidrolojik model yaklaşımlarında yer verilerinin yanı sıra uydu ürünlerine dayalı verilerin de kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Aynı değişken için farklı mekansal, zamansal ve tayfsal çözünürlüklere sahip uydu ürünleri bulunmaktadır, bu ürünlerin farklı avantaj ve dezavantajları olmaktadır. Ürün doğrulamalarının yapılmasının ardından bu veriler modelleme yoluyla etki ve doğrulama çalışmalarında kullanılabilir. Son olarak, yeni geliştirilen uzaktan algılama ürünlerinin hidrolojik modelleme çalışmalarında sınanması, algoritma geliştiricilere fikir vermesi bakımından kıymetlidir. Özellikle hazne işletmesini, taşkın risk analizlerini, iklim değişimi etkilerini de kapsayan karar destek sistemlerinin geliştirilmesi, yönetim stratejilerinin belirlenmesi ve operasyonel hidrolojik uygulamalarda farklı değişkenleri izlemek için kullanılan çeşitli uydu ürünlerinin kullanılması gerekli ve önemli bir hale gelmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, çeşitli proje destekleri ile yürütülmüş ve ekip çalışmaları ile gerçekleştirilmiş bir birikimi ortaya koymaktadır. Bu çalışmaların başlatılmasını ve sürdürülmesini mümkün kılan değerli hocamız Prof. Dr. A. Ünal Şorman'a ve çalışmalarda emeği geçen tüm öğrencilerimize teşekkürlerimizi ve saygılarımızı sunuyoruz. Çalışmalar EUMETSAT H SAF, COST 1404, TUBITAK ve BAP (ODTÜ, Anadolu Üniversitesi ve Eskişehir Teknik Üniversitesi) projeleri destekleri ile yürütülmüştür. Bu projelerde işbirliği ile çalıştığımız ve destek aldığımız kurumlarımız MGM ve DSİ'ye ve katkı sağlayan değerli personeline teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

- Açıkyol, S. (2022). Uydu kar görüntülerinin doğrulanması, hidrolojik modelde uygulanması ve iklim değişikliği etkilerinin incelenmesi, Y.Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Alvarado-Montero, R., Uysal, G., Collados-Lara, A. J., Şorman, A. A., Pulido-Velazquez, D. ve Şensoy, A. (2022). Comparison of sequential and variational assimilation methods to improve hydrological predictions in snow dominated mountainous catchments. *Journal of Hydrology*, 612, 127981. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127981>.
- Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., . . . Prat, O. P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 69-83. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1>.
- Bergström, S. (1976). Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI, Reports RHO, No. 7, Norrköping.
- Brocca, L., Ciabatta, L., Massari, C., Moramarco, T., Hahn, S., Hasenauer, S., ... ve Levizzani, V. (2014). Soil as a natural rain gauge: Estimating global rainfall from satellite soil moisture data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(9), 5128-5141. <https://doi.org/10.1002/2014JD021489>.
- Doğan, Y.O. (2018) Çoruh Havzası'nda çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin çalışması / Multi criteria hydrological modeling and forecasting study in Coruh basin, Y.Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Doğan, Y. O., Şorman, A. A. ve Şensoy, A. (2023). Multi-criteria evaluation for parameter uncertainty assessment and ensemble runoff forecasting in a snow-dominated basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 71(3), 231-247. <https://doi.org/10.2478/johh-2023-0003>.
- González, E. A., Moreno, J. I., Ertaş, M. C., Şensoy, A. ve Şorman, A. A. (2023). A performance assessment of gridded snow products in the Upper Euphrates. *Cuadernos de Investigación Geográfica: Geographical Research Letters*, 49(1), 55-68. <https://doi.org/10.18172/cig.5275>.
- Dong, C. (2018). Remote sensing, hydrological modeling and in situ observations in snow cover research: A review. *Journal of Hydrology*, 561, 573-583. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.027>.
- Ertaş, M.C. (2018) Yukarı Fırat Havzası'nda kar bileşenlerinin ölçülmesi, doğrulanması ve modellenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Hafizi, H., ve Sorman, A. A. (2023). Performance assessment of multi-source, satellite-based and reanalysis precipitation products over variable climate of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 153(3), 1341-1354. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04538-6>.
- Hafizi, H. ve Sorman, A. A. (2022). Assessment of 13 gridded precipitation datasets for hydrological modeling in a mountainous basin. *Atmosphere*, 13(1), 143. <https://doi.org/10.3390/atmos13010143>.
- Jaber, A. S. (2020). Evaluating SM2RAIN and WRF reanalysis precipitation datasets over Turkey and hydrological model application (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi).
- Kidd, C., Becker, A., Huffman, G. J., Muller, C. L., Joe, P., Skofronick-Jackson, G. ve Kirschbaum, D. B. (2017). So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 69-78. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00283.1>.
- Koohi, S., Azizian, A., & Brocca, L. (2021). Spatiotemporal drought monitoring using bottom-up precipitation dataset (SM2RAIN-ASCAT) over different regions of Iran. *Science of the Total Environment*, 779, 146535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146535>.
- Lai, Y., Tian, J., Kang, W., Gao, C., Hong, W., & He, C. (2022). Rainfall estimation from surface soil moisture using SM2RAIN in cold mountainous areas. *Journal of Hydrology*, 606, 127430. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127430>.
- Liu, X., Yang, T., Hsu, K., Liu, C., & Sorooshian, S. (2017). Evaluating the streamflow simulation capability of PERSIANN-CDR daily rainfall products in two river basins on the Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(1), 169-181. <https://doi.org/10.5194/hess-21-169-2017>.
- Martinez, J. (1975). Snowmelt-runoff model for stream flow forecasts. *Hydrology Research*, 6(3), 145-154. <https://doi.org/10.2166/nh.1975.0010>.
- Peker, I. B. ve Sorman, A. A. (2021). Application of SWAT using snow data and detecting climate change impacts in the mountainous eastern regions of Turkey. *Water*, 13(14), 1982. <https://doi.org/10.3390/w13141982>.
- Puca, S., Porcu, F., Rinollo, A., Vulpiani, G., Baguis, P., Balabanova, S., ... ve Gattari, F. (2014). The validation service of the hydrological SAF geostationary and polar satellite precipitation products. *Natural hazards and earth system sciences*, 14(4), 871-889. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-871-2014>.
- Pradhan, A. ve Indu, J. (2021). Assessment of SM2RAIN derived and IMERG based precipitation products for hydrological simulation. *Journal of Hydrology*, 603, 127191. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127191>.
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S. ve Hsu, K. L. (2018). A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79-107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>.
- Şensoy, A., Uysal, G. ve Şorman, A. A. (2023). Assessment of H SAF satellite snow products in hydrological applications over the Upper Euphrates Basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 151(1), 535-551. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04292-1>.
- Şensoy, A., Uysal, G., Doğan, Y. O. ve Civelek, H. S. (2023). The Future Snow Potential and Snowmelt Runoff of Mesopotamian Water Tower. *Sustainability*, 15(8), 6646. <https://doi.org/10.3390/su15086646>.

- Şorman, A. A., Uysal, G. ve Şensoy, A. (2019). Probabilistic snow cover and ensemble streamflow estimations in the Upper Euphrates Basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 67(1), 82-92. <https://doi.org/10.2478/johh-2018-0025>.
- URL-1: <https://blogs.egu.eu/divisions/hs/2020/10/28/water-towers-of-mesopotamia/>, 30 Mart 2024 tarihinde ulaşıldı.
- URL-2: <https://hsaf.meteoam.it/>, 30 Mart 2024 tarihinde ulaşıldı.
- URL-3: <https://harmosnow.eu/>, 30 Mart 2024 tarihinde ulaşıldı.
- USACE. (2018). *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User's Manual: Version 4.3.0*. CA, USA: Hydrologic Engineering Center: Davis
- Uysal, G. ve Şorman, A. Ü. (2021). Evaluation of PERSIANN family remote sensing precipitation products for snowmelt runoff estimation in a mountainous basin. *Hydrological Sciences Journal*, 66(12), 1790-1807. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1954651>.
- Uysal, G., Şensoy, A. ve Şorman, A. A. (2016). Improving daily streamflow forecasts in mountainous Upper Euphrates basin by multi-layer perceptron model with satellite snow products. *Journal of Hydrology*, 543, 630-650. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.037>.
- Yılmaz, M., Amjad, M., Bulut, B., Yılmaz, M. T. Uydu Kaynaklı Yağmur Verilerinin Hata Oranlarının Deniz Kıyılarına Olan Uzaklığa Bağlı Analizi. *Teknik Dergi*, 28(3), 7993-8005. <https://doi.org/10.18400/tekderg.306970>.