

EUMETSAT H SAF UYDU TABANLI OPTİK KAR KAPLI ALAN ÜRÜNLERİNİN DOĞRULAMASI VE 2022 YILI İÇİN KAR KAPLI GÜN ANOMALİLERİNİN TESPİTİ

Semih KUTER¹, Çağrı KARAMAN², Mustafa Berkay AKPINAR³, Zuhal AKYÜREK^{4,5}

¹Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı, semihkuter@karatekin.edu.tr

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü, 06800, Ankara, cagrakaraman@gmail.com

³Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, berkay.akpinar@metu.edu.tr

⁴Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, zakyurek@metu.edu.tr

⁵Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü, 06800, Ankara

ÖZET

Kar örtüsü kış mevsimi süresince kuzey yarımküredeki karasal alanın %40'ını kaplayabilmekte ve dolayısı ile yer-küre-atmosfer arasındaki enerji dengesi, hidrolojik döngü ve benzer pek çok çevresel dinamiği doğrudan etkilemektedir. Çeşitli çevresel süreçler üzerinde küresel ölçekte rol oynayan kar örtüsünün sürekli olarak ve yüksek doğruluk ile izlenmesi gerek günümüzdeki gerekse gelecekteki iklim değişikliği ve su döngülerine yönelik olarak yapılacak olan modelleme ve tahmin çalışmaları açısından büyük öneme sahiptir. Karın görünür dalga boylarındaki yüksek, kısa dalga kızılötesi dalga boylarındaki ise düşük reflektans özelliği kullanılarak kar örtüsünün optik dalga boylarında uydu tabanlı uzaktan algılama teknolojileri ile izlenmesi 1960'lı yıllardan beri süregelmektedir. Uydu tabanlı optik kar algılama ürünleri yoluyla elde edilen kar parametreleri hidrolojik, genel dolaşım, hava tahmin ve iklim değişikliği modelleri için temel girdi değişkeni olarak kullanıldığı için uydu kar ürünlerin üretilmesinde kullanılan algoritmaların iyileştirilmesi/güncellenmesi ve yeni algoritmaların geliştirilmesi açısından sürekli ve düzenli olarak yürütülen doğrulama çalışmaları yüksek öneme sahiptir. EUMETSAT H10 operasyonel ve H34 ön operasyonel kar kaplı alan ürünleri Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı'nın (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites - EUMETSAT) Operasyonel Hidroloji ve Su Yönetimi Desteğine Yönelik Uydu Uygulamaları (Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management – H SAF) projesi kapsamında Meteosat Second Generation (MSG-SEVIRI) yer-sabit uydusundan günlük olarak üretilmektedir. Bu çalışmada, H10 ve H34 ürünlerinin teknik özellikleri tanıtılarak, 2019-2020 ve 2020-2021 kar sezonları için H SAF projesi kapsamınca Türkiye üzerinde yürütülen doğrulama çalışmaları ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Ayrıca, 2011-2022 yıllarına ait H10 verisinden elde edilen uzun yıllar ortalama değerlerine bağlı olarak, Pan Avrupa bölgesi üzerinde 2022 yılı Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarına ait karla kaplı gün anomalileri saptanarak sonuçlar iklimsellik kapsamında tartışılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: H10, H34, karın uzaktan algılanması, kar kaplı gün anomalisi, MSG-SEVIRI

ABSTRACT

VALIDATION OF EUMETSAT H SAF SATELLITE-BASED OPTICAL SNOW-COVERED AREA PRODUCTS AND DETECTION OF SNOW-COVERED DAY ANOMALIES IN YEAR 2022

Snow can cover 40% of the terrestrial area in the Northern hemisphere during the winter seasons and therefore directly affects the energy balance between the earth and its atmosphere, the hydrological cycles, and many similar environmental dynamics. Due to its key role in various environmental processes on a global scale, continuous monitoring of snow cover with high accuracy is of great importance in terms of modeling and forecasting studies for current and future climate change and water cycles. Monitoring of snow cover at optical wavelengths by satellite-based remote sensing technologies has been ongoing since 1960s, by utilizing the high reflectance feature of snow in the visible wavelengths and its low reflectance in the short-wave infrared wavelength range. As snow-related parameters obtained through satellite-based optical snow detection products are used as the basic input variables for hydrological, general circulation, weather forecast and climate change models, continuous and regular validation of snow products is highly important either to improve/update the associated retrieval algorithms or to develop new algorithms. The EUMETSAT H10 operational and H34 pre-operational daily snow detection products are realized within the frame of Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H SAF) project of European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). In this study, the technical specs of the H10 and H34 products, which are produced from Meteosat Second Generation (MSG-SEVIRI) geostationary satellite on a daily basis, are introduced, and the results of validation efforts for the 2019-2020 and 2020-2021 snow seasons carried out in Turkey within the scope of the H SAF project are presented. In addition, snow-covered day anomalies for January, February, March and April of 2022 over the Pan European region based on the long-year average values retrieved from the H10 data for the years 2011-2022 are investigated and the obtained results are discussed from climate point of view.

Keywords: H10, H34, remote sensing of snow, snow-covered day anomaly, MSG-SEVIRI

1. GİRİŞ

Kar örtüsünün %98'i Kuzey yarımküre üzerinde olup (Armstrong ve Brodzik, 2001), bu yarımkürede hüküm süren kış ayları süresince kıtasal alanın %40 ila %50'si karla kaplanabilmektedir (Hall vd., 1995; Robinson vd., 1993). Önemli bir iklim değişkeni olarak tanımlanan kar örtüsünün mekânsal dağılımı (Hüsler vd., 2012), karın düşük termal iletkenlik özelliği ve görünür dalga boylarındaki yüksek reflektansı nedeniyle kış ayları boyunca atmosfer-yerküre arasındaki enerji döngüsünü belirlemekte ve dolayısıyla iklim, hidrolojik döngü ve benzer pek çok çevresel süreci doğrudan etkilemektedir (Kuter vd., 2018; Takala vd., 2011; Tekeli vd., 2005).

Kuzey yarımküredeki kar örtüsünün mekânsal dağılımının yıl içi ve yıllar arası yüksek değişim sergilediği bilinmekle birlikte, yapılan bilimsel çalışmalar Kuzey yarımküredeki minimum, maksimum ve yıllık ortalama kar kaplı alan miktarında dalgalı bir azalma eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır (Pulliainen vd., 2020; Wang vd., 2018). Dünya popülasyonun 1/6'sı içme suyu ihtiyacı için kar ve buzul erimesi kaynaklı suya bağımlı olup (Barnett vd., 2005), küresel iklim değişikliği nedeniyle karın mekânsal dağılımındaki değişimin önemli ekonomik ve sosyal sonuçları olacağı öngörülmektedir (Barnett vd., 2005; Bormann vd., 2018; Sturm vd., 2017).

Yukarıda kısaca değinilen konular çerçevesinde, kar örtüsünün sürekli ve yüksek doğrulukla gözlemlenmesi günümüz ve gelecekteki iklimsel ve hidrolojik döngüler ile bağlantılı çevresel süreçlerin tahminlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Kuter vd., 2022). Karın elektromanyetik spektrumun görünür kısmındaki yüksek, yakın kızılötesi kısmında ise düşük reflektans özelliği kullanılarak optik dalga boylarında uydu tabanlı gözlemler yoluyla kar örtüsü haritalaması 1960'lı yıllardan beri yapılmaktadır (Hall ve Martinec, 1985). Uydu tabanlı kar örtüsü ürünleri, kar örtüsündeki mekânsal ve zamansal değişimlerin ve anomalilerin izlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, uydu tabanlı kar algılama ürünlerinin doğrulaması bu ürünlerin üretilmesinde kullanılan algoritmaların güncelleştirilmesi/iyileştirilmesi ve yeni algoritmaların geliştirilmesi açısından uzaktan algılamada yüksek derecede öneme sahiptir (Piazzini vd., 2019; Surer vd., 2014).

Bu çalışmanın amacı; i) *Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Teşkilatı*'nın (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites – EUMETSAT) *Operasyonel Hidroloji ve Su Yönetimi Desteğine Yönelik Uydu Uygulamaları* (Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management – H SAF) projesi kapsamında geliştirilen operasyonel H10 ve ön operasyonel H34 kar kaplı alan ürünlerinin tanıtılarak, 2019-2020 ve 2020-2021 yılları için bu ürünlere yönelik olarak yapılan doğrulama çalışmalarının ve sonuçlarının sunulması, ve ii) 2011-2022 yılları arasında üretilen H10 verisinden elde edilen uzun yıllar ortalama değerlerini kullanarak Pan Avrupa bölgesinde 2022 yılı Ocak-Nisan ayları arasındaki kar kaplı gün anomalilerinin tespit edilmesidir.

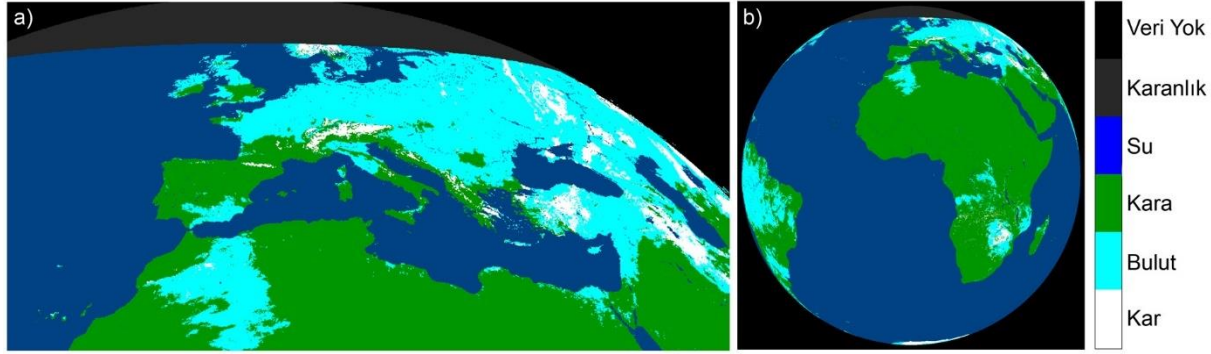
Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir: 2. Bölümde çalışmada kullanılan uydu ürünleri ve yer veri seti tanıtılarak, doğrulama ve kar kaplı gün anomalilerinin bulunmasında kullanılan metodoloji verilmektedir. 2019-2020 ve 2020-2021 yılları için elde edilen doğrulama sonuçları ile 2022 Ocak-Nisan ayları için bulunan anomali sonuçları 3. Bölümde sunulmaktadır. 4. Bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılarak özetlenmiş ve gelecekteki potansiyel çalışma konularına değinilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 H SAF H10 ve H34 Kar Kaplı Alan Ürünleri

H SAF projesi (<https://hsaf.meteoam.it/>), 2005 yılında EUMETSAT (<https://www.eumetsat.int/>) tarafından başlatılmıştır. H SAF'ın temel amacı, operasyonel hidroloji ihtiyaçlarını karşılamak için mevcut ve gelecekteki uydulardan yeterli mekânsal ve zamansal çözünürlüğüne sahip yeni uydu tabanlı ürünler sağlamaktır. Proje kapsamında belirlenen ürünler şunlardır: i) yağış (sıvı/katı ayırımı da dahil olmak üzere, yağış oranı ve birikimi), ii) toprak nemi (yüzeyde ve kök bölgesinde) ve iii) karla ilgili parametreler (kar maskesi, etkili kar kaplı alan ve kar-su eşdeğeri). H SAF, 12 EUMETSAT üyesi veya iş birliği yapan devleti (Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Polonya, Romanya, Slovakya ve Türkiye) ve *Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi*'ni (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) içermektedir (de Rosnay, 2021).

Operasyonel H10 (H10_PUM, 2018) ve ön operasyonel H34 (H34_PUM, 2020) günlük kar kaplı alan ürünleri EUMETSAT H SAF projesi kapsamında geliştirilmiştir. Her iki ürün de 0.05° (~ 5 km) mekânsal çözünürlüğe sahip olup, MSG SEVIRI sensörünün görünür (visible - VIS) ve kızılötesi (infrared - IR) bantlarından elde edilen spektral verinin işlenmesiyle elde edilmektedir (H10_ATBD, 2011; H34_ATBD, 2020). 2011 yılından bu yana üretilmekte olan H10 Pan Avrupa bölgesini kapsamakta iken, ön operasyonel H34 ürünü MSG tam disk alanını kapsamaktadır (Bkz. Şekil 1). Her bir H10 ve H34 pikseli üzerinde veri yok, karanlık, kar, kara, bulut ve su etiketlerinden birisi tanımlanmaktadır. Ürünlerin dağlık alanlar için olan kısmı Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından üretilmekte iken, ormanlık ve düzlük alanlar için olan kısmı ise Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü (*Finnish Meteorological Institute – FMI*) tarafından üretilmektedir. Nihai ürünler, her iki kısmın tanımlanmış olan dağ maskesi kullanılarak FMI’da birleştirilmesi ile elde edilmektedir. 2011 yılından itibaren üretilmekte olan operasyonel H10 ürününün 2022 yılında yerini daha güncel sürümü olan H34 ürününe bırakması planlanmaktadır. Uygulanan dağ maskesi algoritmasıyla ilgili teknik detaylar Surer ve Akyurek (2012) ile Surer vd. (2014)’de verilmektedir.



Şekil 1. 26 Ocak 2022 tarihli a) H10 ve b) H34 görüntüleri.

2019-2020 yılı doğrulama çalışmaları için 1 Ekim 2019 ile 31 Mayıs 2020 tarihleri arasında üretilen H10 ve H34 ürünleri kullanılırken, 2020-2021 doğrulaması için ise 1 Kasım 2020 ile 30 Nisan 2021 arasında üretilen H34 ürünleri kullanılmıştır.

2.2 Yersel Kar Derinliği Verisi

H10 ve H34 ürünlerinin 2019-2020 ve 2020-2021 yılları için yürütülen doğrulama çalışmalarında MGM’nin yersel gözlem ve ölçüm ağı içerisinde yer alan *otomatik hava gözlem sistemi* (Automated Weather Observing System - AWOS) ve *kar kütle analizörü* (Snow Pack Analyzer - SPA) istasyonlarından elde edilen kar derinliği ölçümleri kullanılmıştır. Bazı teknik hususlar nedeniyle (sensör arızası, çim/ot paraziti, vb.), doğrulama çalışmasında tüm istasyonlar operasyonel olarak kullanılabilir olmadığından dolayı, doğrulama öncesi düşük kaliteli ve eksik verileri ortadan kaldırmak için istasyonlar ve kar derinliği verileri üzerinde ayrıntılı kalite kontrol ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

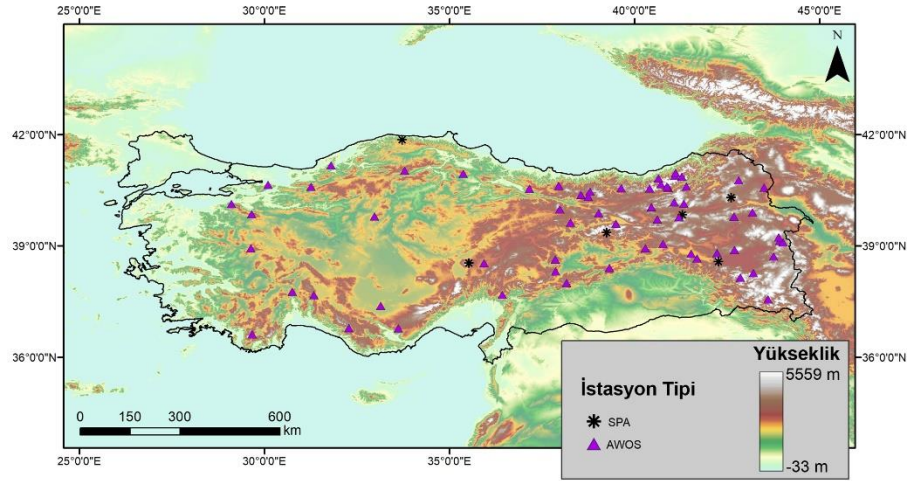
Sonuç olarak, 2019-2020 yılı doğrulama çalışmalarında 93 AWOS ve 3 SPA olmak üzere toplam 96 ölçüm istasyonundan gelen 5913 kar derinliği değeri kullanılırken; 2020-2021 doğrulamasında ise 62 AWOS ve 6 SPA olmak üzere toplam 68 ölçüm istasyonundan gelen 4278 kar derinliği değeri kullanılmıştır. 2020-2021 doğrulama çalışmalarında kullanılan AWOS ve SPA istasyonlarının konumları Şekil 2’de gösterilmektedir.

2.3 Sentinel 2 Uydu Görüntü Seti

Uzaktan algılamada “*çapraz sensör doğrulaması*” (cross sensor validation) olarak bilinen yöntem, orta ve düşük çözünürlüklü uydu ürünlerinin daha yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilen referans veri ile değerlendirilmesi prensibine dayanmakta olup özellikle uydu tabanlı kar ürünlerinin analizinde sıklıkla kullanılmaktadır (Hall vd., 1998; Kuter, 2021; Kuter vd., 2022; Piazzzi vd., 2019). 2020-2021 yılı için H34 ürününe yönelik olarak yürütülen doğrulama çalışmasında yersel ölçümlerden elde edilen kar derinliği verisinin yanında, daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip (20 m) Sentinel 2 görüntülerinden elde edilen referans ikili kar haritaları da kullanılmıştır. Sentinel 2 *Avrupa Uzay Ajansı*’nın (European Space Agency - ESA) Copernicus programı çerçevesinde

işletilen iki adet ikiz uydunun adı olup, 442 – 2200 nm aralığında ve üç farklı mekânsal çözünürlüğe sahip (10 m, 20 m, 60 m) toplam 13 spektral banda sahiptir (Drusch vd., 2012).

Sentinel 2 veri seti 8 farklı karo lokasyonu üzerinde (Bkz. **Şekil 3**) Kasım 2020 – Nisan 2021 arasında elde edilen toplam 103 görüntüden oluşmaktadır. Analizlerde kullanılan görüntüler, bulutluluk oranı %30'dan az olacak şekilde seçilerek *Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu*'nun (U.S. Geological Survey - USGS) ilgili web sitesinden indirilmiştir (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).



Şekil 2. 2020-2021 doğrulama çalışmasında kullanılan AWOS ve SPA istasyonlarının konumları.

Sentinel 2 referans kar haritalarının üretilmesinde SNOMAP algoritması kullanılmıştır (Hall ve Riggs, 2011; Hall vd., 1995). Bu ikili kar sınıflandırma algoritmasında (kar/kar değil) 20 m çözünürlükteki bir Sentinel 2 pikselinin kar olarak sınıflandırılabilmesi için bant 3 ve bant 11 reflektans değerlerinden üretilen ve **Eşitlik 1**'de verilen *normalize fark kar indisi* (normalized difference snow index - NDSI) değerinin ≥ 0.4 , bant 3 reflektans değerinin $\geq \%10$ ve bant 8A reflektans değerinin $> \%11$ olması koşullarının aynı anda sağlanması gerekmektedir.

$$NDSI_{\text{Sentinel 2}} = \frac{b3 - b11}{b3 + b11} \quad (1)$$

Bulut kirliliği %50 ve üzerinde olan H34 piksellerini elemek amacıyla Sentinel 2'nin kendi görüntü işleme modülü olan Sen2Cor v2.9 kullanılarak (Mueller-Wilm, 2020) ek bir bulut maskesi de ayrıca üretilmiştir. Su, veri yok, karanlık etiketli ve bulut kirliliği $\geq \%50$ olan H34 pikselleri analizlerden çıkarılmıştır. Geçerli olan her bir H34 (~5 km) pikseli içine düşen 20 m çözünürlükteki Sentinel 2 kar piksellerinin toplam Sentinel 2 piksellerine olan oranı alınarak, elde edilen değer $\geq \%50$ ise ilgili H34 pikseli kar, aksi durumda ise kar değil olarak etiketlenmiştir.



Şekil 3. H34 doğrulamasında kullanılan Sentinel 2 karo lokasyonları.

2.4 H10 ve H34 Doğrulaması için Kullanılan Metrikler

H10 ve H34 ürünlerinin MGM'ye ait yersel ölçüm açısından elde edilen günlük kar derinliği ölçümleri ve Sentinel 2 verisi kullanılarak doğruluğunun değerlendirilmesinde **Çizelge 1**'deki hata matrisinden türetilen ve aşağıda açıklaması verilen ikili metrikler kullanılmıştır (Doswell III vd., 1990):

- Algılama olasılığı - Probability of detection (POD) = $A/(A+C)$
- Yanlış alarm oranı - False alarm ratio (FAR) = $B/(A+B)$
- Doğruluk - Accuracy (ACC) = $(A+D)/(A+B+C+D)$

Çizelge 1. Örnek ikili hata matrisi.

		Yer verisi	
		Kar	Kar değil
Uydu ürünü	Kar	HITS (A)	FALSE ALARMS (B)
	Kar değil	MISSES (C)	CORRECT NEGATIVES (D)

2.5 2022 Ocak-Nisan Ayları için Kar Kaplı Gün Anomalilerinin Belirlenmesi

Pan Avrupa bölgesindeki kar kaplı gün anomalilerinin belirlenmesinde 2011-2022 arasında üretilen H10 ürünleri kullanılmıştır. Kuzey yarımküre için üretilen uydu kar ürünlerinde sıklıkla karşılaşılan bir problem, özellikle kış aylarında görülen, yoğun bulut örtüsü olmaktadır. H10 ürününde de görülen bulut örtüsünden kaynaklı bu sıkıntıyı gidermek amacıyla 5 günlük hareketli zamansal pencere tekniği kullanılarak (Gafurov ve Bárdossy, 2009; Hou vd., 2019; Weiss vd., 2014) H10 görüntüleri üzerindeki bulut piksellerinin sayısı en aza indirilmeye çalışılmıştır.

2022 yılı Ocak-Nisan ayları için aylık bazdaki kar kaplı gün sayısındaki anomaliler, her bir geçerli H10 pikseli üzerinde 2011-2022 yılları arasındaki ilgili aya ait uzun yıllar aylık ortalama kar kaplı gün sayısı ($\bar{K}_{gün/ay,uy}$) ile 2022 yılına ait ilgili aydaki kar kaplı gün sayısı ($K_{gün/ay,2022}$) farkının, yine uzun yıllar kar kaplı gün sayısındaki ilgili aya ait standart sapma değerine ($std_K_{gün/ay,uy}$) bölünmesiyle hesaplanmıştır (Bkz. **Eşitlik 2**).

$$Anomali = \frac{K_{gün/ay,2022} - \bar{K}_{gün/ay,uy}}{std_K_{gün/ay,uy}}. \quad (2)$$

3. SONUÇLAR

3.1 H10 ve H34 2019-2020 Yersel Veri ile Yapılan Doğrulama Sonuçları

H10 ve H34 ürünleri için MGM yer istasyon açısından elde edilen ve kalite kontrolden geçirilen kar derinliği ölçümleri ile yapılan doğrulama sonuçları **Çizelge 2**'de sunulmaktadır. 2019-2020 aralığında H10 ve H34 doğrulama sonuçlarının birbirinden biraz farklı olduğu gözlemlenmektedir. H34 aynı MSG SEVIRI uydusundan gelen veriyi kullanarak kar kaplı alan bilgisini üretmek için aynı algoritmayı kullanmasına rağmen, nihai çıktı H10 ile aynı değildir. Bu iki ürün arasındaki farklılığın temel nedeni, karla kaplı alan algoritmasının bulut/kar ayırımında büyük ölçüde Nowcasting SAF (<https://www.nwcsaf.org/>) bulut ürününe (Le Gleau, 2019) bağımlı olmasından kaynaklanmakta olup, H10 ve H34 ürünleri için kullanılan bulut veri girdisi birbirinden farklı olduğundan, nihai ürün çıktıları da farklı olmaktadır.

3.2 H34 2020-2021 Yersel Veri ve Sentinel 2 ile Yapılan Doğrulama Sonuçları

H34 ürününün yersel kar derinliği verisi ve Sentinel 2 görüntülerinden elde edilen referans kar haritalarıyla yapılan doğrulama çalışmasına ait sonuçlar **Çizelge 3**'de verilmiştir. 2020-2021 için MGM'ye ait yer istasyonlarından oluşturulan veri 4278 gözlem içermekteyken, Sentinel 2 görüntülerden elde edilen referans veri seti toplam 44 624 gözlemden oluşmaktadır.

Kar, Türkiye'nin doğu dağlık bölgelerinde genellikle Ekim ayının ortalarında birikmeye başlayıp, çoğunlukla Mayıs ayının sonuna kadar yerde kalmaktadır. Ancak, 2020-2021 kar sezonunda kar örtüsünün miktarı ve süresi genel olarak gözlemlenenenden daha az olduğu için 2020-2021 doğrulama dönemi Kasım 2020 – Nisan 2021 arasında sınırlı tutulmuştur.

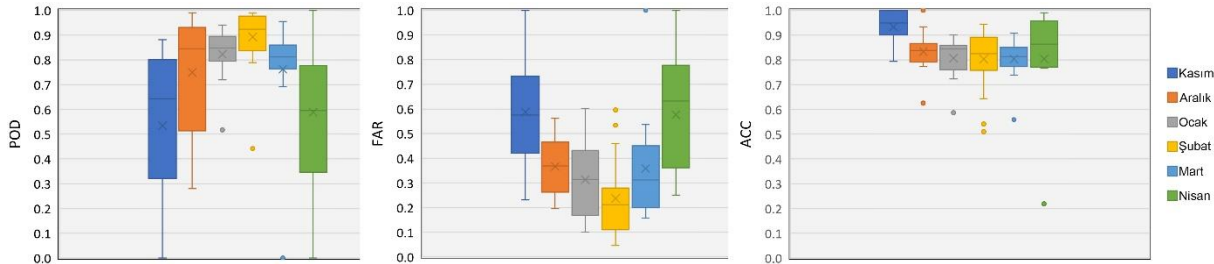
Çizelge 2. 2019-2020 yılı için H10 ve H34 yer verisi ile elde edile doğrulama sonuçları.

	H10			H34		
	POD	FAR	ACC	POD	FAR	ACC
Ekim 2019	0,00	-	0,75	0,50	0,00	0,92
Kasım 2019	0,27	0,40	0,69	0,16	0,43	0,61
Aralık 2019	0,69	0,29	0,63	0,98	0,32	0,67
Ocak 2020	0,87	0,03	0,85	0,98	0,04	0,95
Şubat 2020	0,86	0,01	0,85	0,99	0,02	0,97
Mart 2020	0,74	0,07	0,72	0,72	0,07	0,71
Nisan 2020	0,51	0,13	0,7	0,47	0,10	0,66
Mayıs 2020	0,23	0,19	0,78	0,13	0,12	0,71
Genel	0,77	0,08	0,77	0,90	0,10	0,83

Çizelge 3. 2020-2021 H34 ürünü için yer verisi ve Sentinel 2 ile yapılan doğrulama sonuçları.

	H34 (Yer Verisi)			H34 (Sentinel 2)		
	POD	FAR	ACC	POD	FAR	ACC
Kasım 2019	0,30	0,00	0,30	0,77	0,43	0,93
Aralık 2019	0,74	0,00	0,74	0,85	0,33	0,83
Ocak 2020	0,83	0,00	0,83	0,84	0,30	0,81
Şubat 2020	0,80	0,00	0,80	0,92	0,22	0,80
Mart 2020	0,76	0,00	0,76	0,84	0,33	0,79
Nisan 2020	0,33	0,00	0,33	0,75	0,63	0,90
Genel	0,72	0,00	0,72	0,87	0,32	0,83

Sentinel 2 referans kar haritaları kullanılarak yapılan doğrulama çalışmasından elde edilen sonuçlar ayrıca, doğrulamanın yapıldığı ay ve karo bazında kutu grafikleri olarak da **Şekil 4** ve **Şekil 5**'te sunulmaktadır.

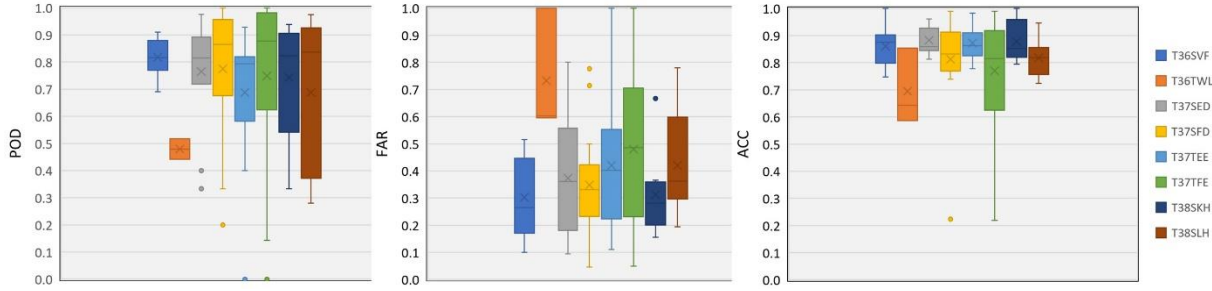


Şekil 4. H34 için Sentinel 2 ile doğrulama aylık POD, FAR ve ACC değerleri.

Çizelge 3'te verilen sonuçlar, yersel verilerden ve Sentinel 2 görüntülerinden elde edilen H34 doğrulama metriklerinin farklı olduğunu ortaya koymaktadır. 4278 gözlemin mevcut olduğu yersel kar derinliği ölçümlerinden hesaplanan ikili metriklerle göre, POD ve ACC Kasım 2020'de 0,30 değeri ile başlayarak, Ocak 2021'de maksimum değerlerine (0,83) ulaşmaktadır. Ardından kademeli olarak azalmaya başlayan POD ve ACC, Nisan 2021'de 0,33 değerine kadar düşmektedir.

Sentinel 2 ile gerçekleştirilen ve 8 karo konumu üzerinden 44 624 gözlemi içeren sonuçlar (Bkz. **Çizelge 3**), Kasım 2020'deki karın ön birikme döneminde bile H34'ün 0,77 ile yüksek POD değerine sahip olduğunu, ancak aynı zamanda da yüksek FAR değeri (0,43) verdiğini göstermektedir. POD, Şubat 2021'de 0,92 (FAR = 0,22, minimum) ile en yüksek değerine ulaşırken, Nisan 2021'in sonuna kadar (0,75) kademeli bir düşüş sergilemektedir. Yersel gözlemlerden elde edilen ACC değerlerinden farklı olarak, Sentinel 2'den hesaplanan ACC, sırasıyla minimum ve

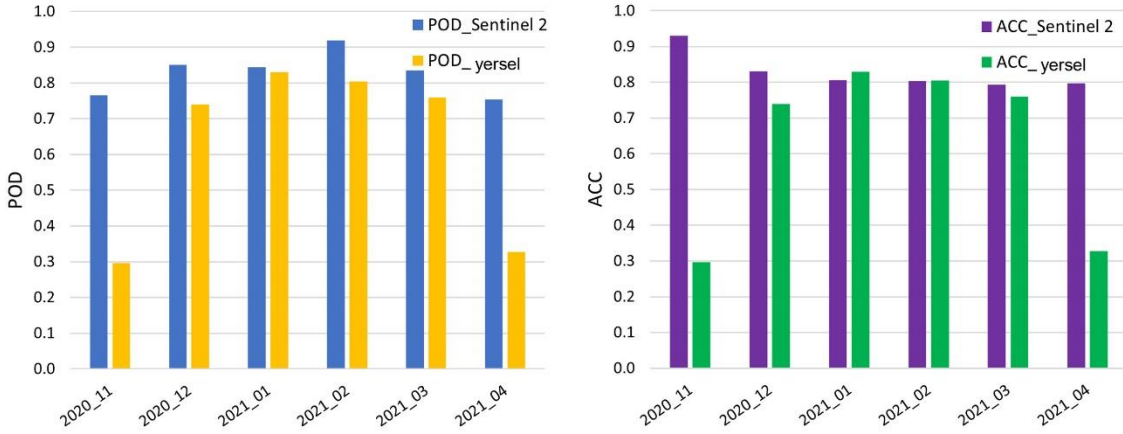
maksimum değerleri olan 0,79 (Mart 2021'de) ve 0,93 (Kasım 2021'de) ile Kasım 2020 ve Nisan 2021 arasında nispeten istikrarlı bir eğilim izlemektedir.



Şekil 5. H34 için Sentinel 2 ile doğrulama karo bazında POD, FAR ve ACC değerleri.

Şekil 5'te, H34'ün Sentinel 2 T36TWL karosu üzerinde POD ve FAR metrikleri açısından en kötü sonuçları verdiği açıkça görülmektedir. Bu karo, yoğun orman örtüsüne sahip Ilgaz Dağları üzerinde yer almakta olup, bu durum optik dalga kar algılama algoritmasının beklediği gibi performansını düşürmektedir.

Sentinel 2 ve yersel ölçümler ile yapılan doğrulamalarda en belirgin fark, karın birikme ve erime dönemlerine karşılık gelen sonbahar (Kasım) ve ilkbahar (Nisan) aylarında gözlemlenmektedir (Bkz. Şekil 6). Bu aylar dışında, her iki doğrulama da nispeten benzer sonuçlar verirken, Sentinel 2'den elde edilen metrikler genelde yersel veriden elde edilenlere kıyasla biraz daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 6. H34 için Sentinel 2 ve yersel veriden elde edilen POD ve ACC değerlerinin aylar bazında karşılaştırılması.

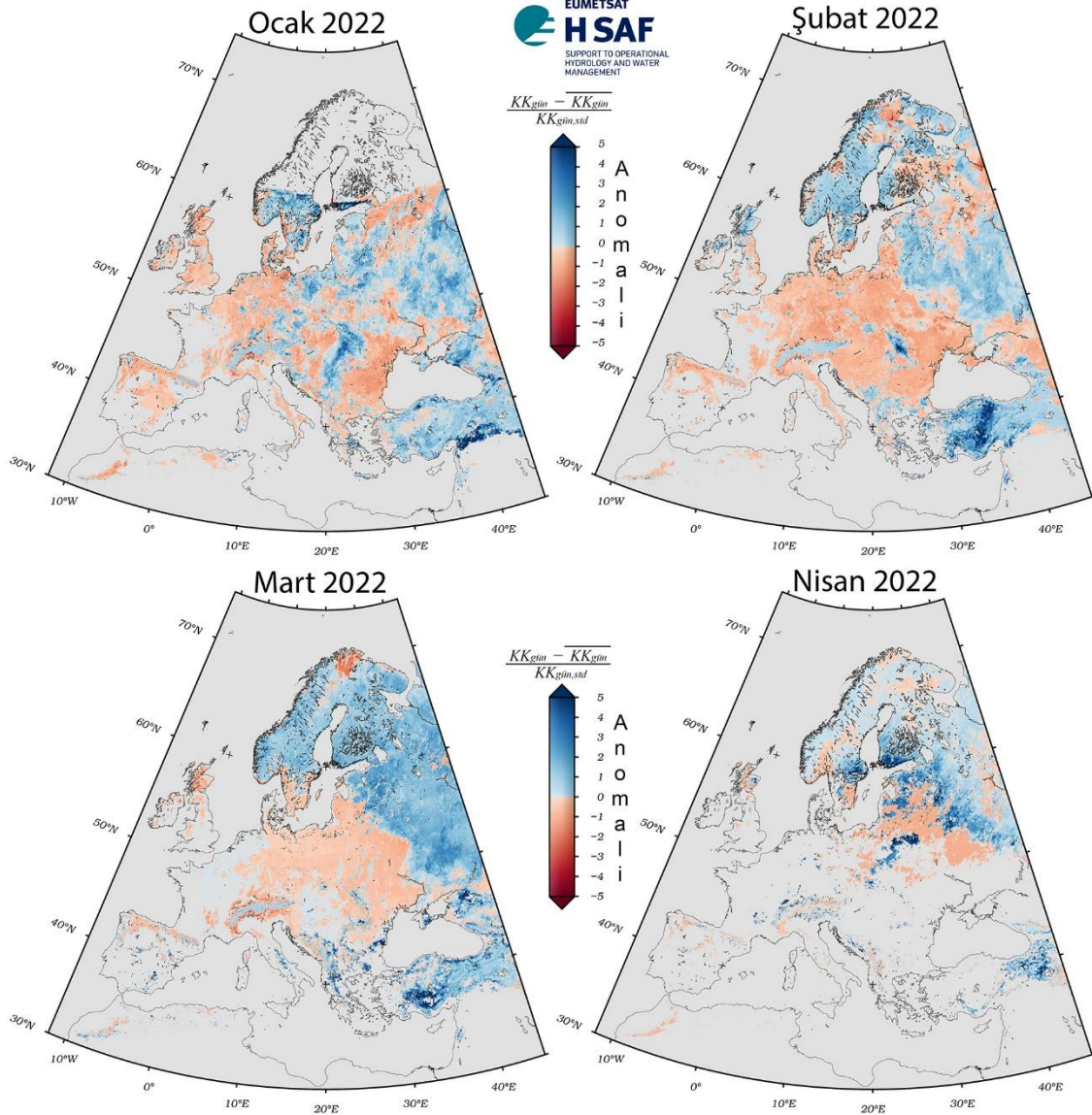
3.3 2022 Ocak-Nisan Kar Kaplı Gün Anomalileri

2022 yılı Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarına yönelik olarak 2011-2022 yılları H10 verisine dayalı olarak belirlenen kar kaplı gün anomalileri Şekil 7'de gösterilmektedir. Türkiye'nin genelinde bakıldığında 2022 yılı için Ocak, Şubat ve Mart aylarında pozitif bir anomali gözlemlenmektedir. Özellikle 2022 yılı Şubat ayında Orta Anadolu'da kuzeyden güneye uzanan bölgede belirgin bir şekilde kar kaplı gün sayısı anomalisi izlenmektedir. Türkiye'de Ocak-Nisan 2022 ayları arasında kar kaplı gün sayısının uzun yıllar ortalamasına oranla daha fazla olduğu belirlenmekle birlikte, bu durumun aksine, Kuzey İtalya'da Alpler bölgesinde büyük ölçüde negatif anomali gözlemlenmektedir.

4. TARTIŞMA

Orta veya düşük mekânsal çözünürlüklü uydu kar ürünlerinin doğrulaması oldukça zorlu bir iştir. Bunun başlıca nedenleri: i) doğrulamada kullanılan referans verilerin mekânsal ve zamansal ölçeği, uzaktan algılama yoluyla elde edilen kar ürününün mekânsal ve zamansal ölçeğiyle benzer bir kapsamda eşleşmelidir; ii) yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilen kar örtüsü haritaları kullanılarak çapraz sensör karşılaştırması, mekânsal olarak kapsamlı

referans veri olarak kabul edilse de, genellikle yalnızca daha kısıtlı bir zaman aralığını kapsarlar ve ormanlık bölgelerdeki veya karmaşık arazilerdeki tüm uydu kaynaklı kar ürünleri gibi benzer belirsizliklerden olumsuz olarak etkilenirler; *iii*) yersel ölçümler, doğrulama çalışmaları için uzun zaman serisi veri setleri sağlayabilir, ancak bu veriler noktasal ölçekli gözlemlere dayandığından, özellikle karmaşık dağlık arazilerde, yer istasyonu ağının mekânsal dağılımı/yoğunluğu yeterli olmadığında, enterpolasyon ile dağıtıldığında bu durum ayrıca hatalara neden olmaktadır (Hall vd., 2019; Hüsler vd., 2012).



Şekil 7. Sentinel 2 ve yersel veriden elde edilen POD ve ACC değerlerinin aylar bazında karşılaştırılması.

Bu bildiride, 15 yıllık bir geçmişe sahip olan EUMETSAT H SAF projesi kapsamında geliştirilen ve üretilen optik kar kaplı alan uydu ürünleri H10 ve H34 tanıtılarak, bu ürünlerin doğrulama çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Çalışmada ayrıca Pan Avrupa bölgesini kapsayacak şekilde 2022 yılının ilk dört ayına ait kar kaplı gün sayısı anomalileri 2011-2022 yılları H10 ürününden yararlanılarak belirlenmiş ve sunulmuştur. Kuzey yarımküredeki hidrolojik, ekolojik ve iklimsel döngüler üzerinde büyük etkisi olan mevsimsel kar örtüsündeki değişim ve anomalilerin küresel ölçekte tutarlı bir şekilde izlenerek tespit edilmesi ve kayıt altına alınmasında uzaktan algılama teknikleri ile üretilen uydu kar ürünleri yüksek öneme sahiptir. Elde edilen sonuçlar HSAF kar kaplı alan ürününün bu kapsamda başarılı ve tutarlı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Armstrong, R.L., Brodzik, M.J. (2001). Recent northern hemisphere snow extent: A comparison of data derived from visible and microwave satellite sensors. *Geophysical Research Letters*, 28, 3673-3676.

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.

Bormann, K.J., Brown, R.D., Derksen, C., Painter, T.H. (2018). Estimating snow-cover trends from space. *Nature Climate Change*, 8, 924-928.

de Rosnay, P. (2021). H SAF web sayfası. Erişim linki: <https://confluence.ecmwf.int/display/LDAS/H+SAF>.

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36.

Gafurov, A., Bárdossy, A. (2009). Cloud removal methodology from MODIS snow cover product. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1361-1373.

H10_ATBD (2011). Algorithm Theoretical Baseline Document (ATBD) for product H10 – SN-OBS-1. Erişim linki: https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-10_1_1.pdf&tipo=ATBD.

H10_PUM (2018). Product User Manual (PUM) for product H10 – SN-OBS-1 Snow detection (snow mask) by VIS/IR radiometry. Erişim linki: https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_PUM-10_1_1_01.pdf&tipo=PUM.

H34_ATBD (2020). Algorithm Theoretical Baseline Document (ATBD) for product H34 – SE-D-SEVIRI. Erişim linki: https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_ATBD-34_1_1.pdf&tipo=ATBD.

H34_PUM (2020). Product User Manual (PUM) for product H34 – SN-OBS-1G Snow detection (snow mask) by VIS/IR radiometry. Erişim linki: https://hsaf.meteoam.it/CaseStudy/GetDocumentUserDocument?fileName=SAF_HSAF_PUM-34_1_1.pdf&tipo=PUM.

Hall, D., Foster, J., Verbyla, D., Klein, A., Benson, C. (1998). Assessment of snow-cover mapping accuracy in a variety of vegetation-cover densities in central Alaska. *Remote Sensing of Environment*, 66, 129-137.

Hall, D.K., Martinec, J. (1985). *Remote Sensing of Ice and Snow*. USA: Chapman and Hall.

Hall, D.K., Riggs, G.A. (2011). Normalized-Difference Snow Index (NDSI). In V.P. Singh, P. Singh, & U.K. Haritashya (Eds.), *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers* (pp. 779-780). Dordrecht: Springer Netherlands.

Hall, D.K., Riggs, G.A., DiGirolamo, N.E., Román, M.O. (2019). Evaluation of MODIS and VIIRS cloud-gap-filled snow-cover products for production of an Earth science data record. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 5227-5241.

Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V. (1995). Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data. *Remote Sensing of Environment*, 54, 127-140.

Hou, J., Huang, C., Zhang, Y., Guo, J., Gu, J. (2019). Gap-Filling of MODIS Fractional Snow Cover Products via Non-Local Spatio-Temporal Filtering Based on Machine Learning Techniques. *Remote Sensing*, 11, 90.

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 Sensing of Environment*, 121, 497-515.

Kuter, S. (2021). Completing the machine learning saga in fractional snow cover estimation from MODIS Terra reflectance data: Random forests versus support vector regression. *Remote Sensing of Environment*, 255, 112294.

Kuter, S., Akyurek, Z., Weber, G.W. (2018). Retrieval of fractional snow covered area from MODIS data by multivariate adaptive regression splines. *Remote Sensing of Environment*, 205, 236-252.

Kuter, S., Bolat, K., Akyurek, Z. (2022). A machine learning-based accuracy enhancement on EUMETSAT H-SAF H35 effective snow-covered area product. *Remote Sensing of Environment*, 272, 112947.

Le Gleau, H. (2019). Algorithm theoretical basis document for the cloud product processors of the NWC/GEO. Erişim linki: https://www.nwcsaf.org/Downloads/GEO/2018/Documents/Scientific_Docs/NWC-CDOP2-GEO-MFL-SCI-ATBD-Cloud_v2.1.pdf.

Mueller-Wilm, U. (2020). Sen2Cor Configuration and User Manual - v2.9. Erişim linki: <http://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.9.0/docs/S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.9.0.pdf>.

Piazzì, G., Tanis, C.M., Kuter, S., Simsek, B., Puca, S., Toniazzi, A., Takala, M., Akyürek, Z., Gabellani, S., Arslan, A.N. (2019). Cross-Country Assessment of H-SAF Snow Products by Sentinel-2 Imagery Validated against In-Situ Observations and Webcam Photography. *Geosciences*, 9, 129.

Pulliainen, J., Luojus, K., Derksen, C., Mudryk, L., Lemmetyinen, J., Salminen, M., Ikonen, J., Takala, M., Cohen, J., Smolander, T., Norberg, J. (2020). Patterns and trends of Northern Hemisphere snow mass from 1980 to 2018. *Nature*, 581, 294-298.

Robinson, D.A., Dewey, K.F., Heim, R.R. (1993). Global snow cover monitoring: An update. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74, 1689-1696.

Sturm, M., Goldstein, M.A., Parr, C. (2017). Water and life from snow: A trillion dollar science question. *Water Resources Research*, 53, 3534-3544.

Surer, S., Akyurek, Z. (2012). Evaluating the utility of the EUMETSAT HSAF snow recognition product over mountainous areas of eastern Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 57, 1684-1694.

Surer, S., Parajka, J., Akyurek, Z. (2014). Validation of the operational MSG-SEVIRI snow cover product over Austria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 763-774.

Takala, M., Luojus, K., Pulliainen, J., Derksen, C., Lemmetyinen, J., Kärnä, J.-P., Koskinen, J., Bojkov, B. (2011). Estimating northern hemisphere snow water equivalent for climate research through assimilation of space-borne radiometer data and ground-based measurements. *Remote Sensing of Environment*, 115, 3517-3529.

Tekeli, A.E., Akyürek, Z., Şorman, A.A., Şensoy, A., Şorman, Ü. (2005). Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97, 216-230.

Wang, Y., Huang, X., Liang, H., Sun, Y., Feng, Q., Liang, T. (2018). Tracking Snow Variations in the Northern Hemisphere Using Multi-Source Remote Sensing Data (2000–2015). *Remote Sensing*, 10, 136.

Weiss, D.J., Atkinson, P.M., Bhatt, S., Mappin, B., Hay, S.I., Gething, P.W. (2014). An effective approach for gap-filling continental scale remotely sensed time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 98, 106-118.