

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MODIS FRAKSİYONEL KAR ÖRTÜSÜ ÜRÜNÜNÜN
DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI İÇİN SENTINEL 2 GÖRÜNTÜLERİNİN
UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

UĞUR TUTTU

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANKIRI
2020**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MODIS FRAKSİYONEL KAR ÖRTÜSÜ ÜRÜNÜNÜN DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI İÇİN SENTINEL 2 GÖRÜNTÜLERİNİN UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Uğur TUTTU

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Semih KUTER

Bu çalışmanın ana amacı orta çözünürlüklü görüntüleme spektrometresi (moderate resolution imaging spectroradiometer - MODIS)'ne ait etkili kar kaplı alan (EKKA) ürününün Türkiye üzerinde sürekli doğrulama çalışmalarının yapılabilmesi için Sentinel 2 uydu görüntülerinin uygunluğunun değerlendirilmesidir. Çalışmanın ilk aşamasında, üç farklı ikili kar haritalama algoritması uygulanarak elde edilen Sentinel 2 ikili kar örtüsü haritaları, yer istasyonlarından elde edilen kar derinliği ölçümleri ile test edilmiştir. Sentinel 2 ikili kar haritalarının performansını değerlendirmek için Kasım 2017 ile Nisan 2018 arasında çekilen 205 Sentinel 2 görüntüsü ile 75 yer gözlem istasyonundan alınan 286 kar derinliği ölçümü kullanılmıştır. Üç farklı ikili kar haritalama algoritmasında, $POD \geq 0.82$, $FAR \approx 0.70$ ve $ACC \geq 0.80$ değerleri ile saha bazlı kar derinliği verileriyle yüksek uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. İkinci aşamada, 2017-2018 kar sezonu için Türkiye üzerinde çekilen 207 MODIS EKKA görüntüsü, Sentinel 2 ikili kar haritalarından elde edilen referans EKKA haritaları kullanılarak test edilmiştir. 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. Buna ek olarak, MOD10A1'in ormanlık alanlarda daha düşük performans sergilediği, ancak savanların ve karışık tarım arazilerinin hakim olduğu alanlarda doğruluğunun yüksek olduğu bulunmuştur.

2020, 71 sayfa

ANAHTAR KELİMELER Sentinel 2, MODIS, Fraksiyonel Kar Örtüsü, Karın Uzaktan Algılanması

ABSTRACT

Master's Thesis

ASSESSING THE SUITABILITY OF SENTINEL 2 IMAGERY FOR THE VALIDATION EFFORTS OF MODIS FRACTIONAL SNOW COVER PRODUCT

Uğur TUTTU

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Semih KUTER

This study mainly focuses on investigating the suitability of Sentinel 2 data for the continuous validation efforts of fractional snow cover (FSC) product of moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over Turkey. In the first stage of the study, Sentinel 2 binary snow cover maps obtained by applying three different binary snow mapping algorithms were tested against in-situ snow depth measurements. In total, 205 Sentinel 2 images taken between November 2017 and April 2018, 286 snow depth measurement from 75 ground observation stations were used to assess the performance of Sentinel 2 binary snow maps. All three binary snow mapping algorithms were in good agreement with in-situ snow depth data with $POD \geq 0.82$, $FAR \approx 0.70$ and $ACC \geq 0.80$. In the second stage, 200 MODIS FSC images for the 2017-2018 snow season over Turkey were tested by using reference FSC maps generated from Sentinel 2 binary snow maps. Overall results indicated that MODIS FSC product, namely, MOD10A1 exhibited quite good performance with $RMSE = 0.13$ and $R = 0.88$. When the monthly-based performance metrics were analysed it was observed that the accuracy of MOD10A1 product degraded in April and this behaviour was mainly attributed to the patchy snow cover during the melting period. Additionally, MOD10A1 was found to exhibit poorer performance over forested areas, whereas its accuracy was high over areas dominated by savannas and mixed agricultural lands.

2020, 71 pages

Key Words: Sentinel 2, MODIS, Fractional Snow Cover, Remote Sensing of Snow

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“MODIS Fraksiyonel Kar Örtüsü Ürününün Doğrulama Çalışmaları İçin Sentinel 2 Görüntülerinin Uygunluğunun Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma 2017-2020 yılları arasında hazırlanarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne “Yüksek Lisans Tezi” olarak sunulmuştur.

Çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren ve yakın ilgisi ile büyük destek sağlayan danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Semih KUTER’e sonsuz teşekkür ederim.

Tezimin farklı aşamalarında değerli fikirlerini paylaşan sayın hocalarım Arş. Gör. Sinan BULUT, Arş. Gör. Ferhat BOLAT ve Arş. Gör. Özlem MEŞE’ye, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme ve hayatımın her anında beni destekleyen, anlayış gösteren ve her konuda yardımcı olan hayat arkadaşım değerli hocam Arş. Gör. Dr. Gamze TUTTU’ya teşekkürlerimi sunarım.

Uğur TUTTU
Çankırı, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1 Sentinel 2 Görüntü Seti ve İkili Kar Haritalarının Oluşturulması	7
2.2 Sentinel 2 İkili Kar Haritalarının Yer Verisiyle Doğrulanması	12
2.3 MODIS Verisi ve Ön İşleme Aşamaları	14
2.4 MODIS MOD10A1 Ürünün Sentinel 2 Referans EKKA Verisiyle	
Karşılaştırılması.....	23
3. BULGULAR	27
3.1 Sentinel 2 İkili Kar Haritalarının Doğrulanması.....	27
3.2 MODIS MOD10A1 Ürününün Sentinel 2 Tabanlı Referans EKKA Haritaları ..	
ile Doğrulanması	29
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	34
KAYNAKLAR	36
EKLER.....	42
EK 1 Sentinel 2 İkili kar Haritalarının Yer İstasyon Verisiyle Karşılaştırılmasında	
Kullanılan Matlab Fonksiyonu.....	49
EK 2 Sentinel 2 Uydu Görüntülerinden Referans İkili Kar Haritaları Üretmek İçin	
Kullanılan Matlab Fonksiyonu.....	51
EK 3 MODIS MOD10A1 Ürünün Referans Sentinel 2 Haritalarıyla	
Doğrulanmasında Kullanılan Matlab Fonksiyonu.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	62

SİMGELER DİZİNİ

AWOS:	Automated Weather Observing System-Otomatik Hava Gözlem Sistemi
DEM	Digital Elevation Model-Digital Yükseklik Modeli
EKKA	Etkili Karla Kaplı Alan
ESA	European Space Agency- Avrupa Uzay Ajansı
ETM+	The Enhanced Thematic Mapper Plus-Geliştirilmiş Tematik Haritalayıcı
EOS	Earth Observing System-Dünya Gözlemeleme Sistemi
EOSDIS	Earth Observing System Data and Information System-Dünya Gözlem Sistemi Veri ve Bilgi Sistemi
FKÖ	Fraksiyonel Kar Örtüsü
HDF	Hierarchical Data Format-Hiyerarşik Veri Formatı
HDF - EOS	Hierarchical Data Format-Earth Observing System-Hiyerarşik Veri Formatı- Dünya Gözlem Sistemi
IGBP	The International Geosphere-Biosphere Programme-Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı
IR	Infrared-Kızılötesi
KD	Kar Derinliği
KKA	Karla Kaplı Alan
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi
NASA	National Aeronautics and Space Administration - Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NCSA	National Center for Supercomputing Applications- Ulusal Süper Hesaplama Uygulamaları Merkezi
NDSI	Normalized Difference Snow Index - Normalize Fark Kar İndisi
NDVI	Normalized Difference Vegetation - Normalize Fark Vejetasyon İndisi
NIR	Near Infrared-Yakın Kızılötesi
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration-Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
QA	Quality Assessment-Kalite Değerlendirme
R	Correlation Coefficient-Korelasyon Katsayısı
RMSE	Root Mean Squared Error-Hataların Kareler Ort. Karekökü
SDS	Scientific Data Set-Bilimsel Veri Seti
SPA	Snow Pack Analyzer-Kar paketi Analizörü
SWIR	Shortwave Infrared-Kısa dalga kızılötesi
TIRS	Thermal Infrared Sensor-Termal Kızılötesi Sensör
TOA	Top of Atmospheric-Atmosferüstü
UA	Remote Sensing-Uzaktan Algılama
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
km ²	kilometrekare
m	metre

μm
 nm
 $^{\circ}\text{C}$

Mikrometre
Nanometre
Santigrat Derece



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Dünyanın 2004 yılı Şubat ayı MODIS görüntüsü	1
Şekil 2.1 İkiz uydu Sentinel 2 yörüngesel yapılandırma	7
Şekil 2.2 Sentinel 2 için ikili kar haritalama algoritması.....	9
Şekil 2.3 İkinci algoritmada kullanılan düzensiz NDSI-NDVI karar bölgesi	10
Şekil 2.4 (a) RGB gerçek görüntü, (b) Algoritma 1, (c) Algoritma 2, ve (d) Algoritma 3 (Sentinel 2 ikili kar haritası T36TWL karosunun 7-Ocak-2018 tarihli görüntüsü)	12
Şekil 2.5 1) Kızılcahamam SPA istasyonu 2) AWOS Ilgaz Dağı ve 3) Nemrut Dağı SPA istasyonu	13
Şekil 2.6 Sentinel 2 ikili kar haritalarının doğruluk analizinde kullanılan yer istasyonları ve Sentinel 2 karoların konumları	13
Şekil 2.7 13 Ocak 2002 tarihinde Terra MODIS ile görüntülenmiş Türkiye görüntüsü	17
Şekil 2.8 MODIS sinüsoidal ızgara şema	21
Şekil 2.9 Sentinel 2 ikili kar haritasından referans MODIS EKKA haritası üretilmesi. 24	
Şekil 3.1 Ay bazlı RMSE ve R değerleri	30
Şekil 3.2 Karo bazlı RMSE ve R değerleri	31
Şekil 3.3 Arazi sınıfları verilerine göre RMSE ve R değerleri	32
Şekil 3.4 DEM sınıfları bazında RMSE ve R değerleri	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Sentinel 2 özellikleri	8
Çizelge 2.2 Sentinel 2 spektral bantlar	8
Çizelge 2.3 Sen2Cor arazi sınıfları	11
Çizelge 2.4 İkili hata matrisi	14
Çizelge 2.5 MODIS spektral bantlar.....	15
Çizelge 2.6 MODIS'in özellikleri.....	16
Çizelge 2.7 MODIS kar ürünlerinin üretilmesinde kullanılan bantlar.....	17
Çizelge 2.8 MODIS Terra ve Aqua kar veri ürünleri, Terra MOD ve Aqua MYD..... ürünleri M * D ile gösterilmiştir	19
Çizelge 2.9 Arazi yükseklik kategorileri	22
Çizelge 2.10 Çalışmada kullanılan arazi örtüsü sınıfları	23
Çizelge 2.11 2017-2018 Türkiye kar sezonu için MOD10A1-Sentinel 2 görüntü çiftleri	25
Çizelge 3.1 Algortima 1 için uydu görüntüleri ve yer istasyon verilerinden elde edilen ... hata matrisi.	27
Çizelge 3.2 Uydu görüntüleri ve yer istasyon verilerinden elde edilen hata matrisi	27
(Algoritma 2).....	27
Çizelge 3.3 Uydu görüntüleri ve yer istasyon verilerinden elde edilen hata matrisi	28
(Algoritma3).....	28
Çizelge 3.4 Sentinel 2 ikili kar haritaları için hesaplanan performans metrikleri	29
Çizelge 3.5 MODIS MOD10A1 ürünü için genel doğrulama sonuçları (Algoritma 2) .	29

1. GİRİŞ

Kuzey yarım kürede hüküm süren kış ayları boyunca yer kürenin kara kısımlarının %40'ı karla kaplanabildiğinden (URL 1) (Şekil 1.1) Hall *et al.* (1995); yer yüzeyinin önemli bir fiziki ögesi olan kar örtüsünün kapsamı ve mekânsal dağılımı Munkhjargal *et al.* (2019) ekolojik, hidrolojik ve iklimsel dinamiklerin gözlemlenmesi açısından önemli rol oynamaktadır (Bates *et al.* 2008, Appel 2018). Önemli bir iklim değişkeni olan karın mevsimsel olarak varlığı, optik dalga boylarındaki yüksek reflektans değeri ve düşük ısı iletkenlik özelliği, atmosfer ile yer küre arasındaki enerji transferini doğrudan etkilemektedir (Aalstad *et al.* 2018).



Şekil 1.1 Dünyanın 2004 yılı Şubat ayı MODIS görüntüsü (URL 1)

Karla kaplı sahalar, donmuş olarak su rezervuarı görevi görürken karın erime dönemi boyunca ise su temini için aktif bir depodur (Thirel *et al.* 2013, Kumar *et al.* 2015). Mevsimsel kar örtüleri ve buzullar Dünya nüfusunun altıda birinden fazlasının taze su ihtiyacını karşılamaktadır (Barnett *et al.* 2005). Ayrıca kar, orman ekosistemleri ve havzalarının devamlılığı için ihtiyaç duyulan su kaynağı olmasıyla da önemli bir fiziksel ögedir (Hüsler *et al.* 2012).

Yağış rejimi, güneş radyasyonu, ortalama hava sıcaklığı gibi etmenler ile yükseklik, eğim ve bakı gibi yerel topografya bileşenleri (López-Moreno and Nogués-Bravo 2005, Rice *et al.* 2011, Bormann *et al.* 2013, Luce *et al.* 2014, Molotch and Meromy 2014, Revuelto *et al.* 2014) kar örtüsünün kalıcılığı ile mekânsal ve zamansal değişkenliğe olan etkisini en iyi açıklayan faktörlerdir. Alandaki bitki örtüsünün varlığı ise; yüzeye karın düşmesini

engelleyip meteorolojik etmenlerin şiddetini etkileyerek alandaki kar dağılımının tanımını zorlaştırır (Harpold *et al.* 2014, Szczypta *et al.* 2015, Fayad *et al.* 2017). Ayrıca, rüzgar kaynaklı erozyon ve birikme olayları karın mekânsal yeniden dağılımını sağlayan ana kontrol faktörüdür (Gascoin *et al.* 2013). Sonuç olarak; kar örtüsünün mekânsal ve zamansal dağılımının sürekli olarak gözlemlenmesi, doğru bir şekilde modellenmesi, kar-su eşdeğerinin daha iyi tahmin edilmesi ve hava tahmin modellerinin yanı sıra günümüzde ve gelecekteki küresel ve yerel ölçekli iklim değişikliği ve hidroloji ile ilgili çalışmaların başarısı açısından büyük öneme sahiptir (Dozier 1992, Foster *et al.* 1996, Brown *et al.* 2003, Hosaka *et al.* 2005, Clark *et al.* 2006, Pirazzini *et al.* 2018).

Yer bazlı kar ölçümleri, kar örtüsünün zamansal anlamda değişimini izlemeye olanak veren sürekli ve doğrudan veri sağlasada genellikle rüzgar hareketleri ve bitki örtüsü etkileşimleri gibi bozulmalara maruz kalmaktadır. Bunun yanında yersel ölçümün alındığı ağın yoğunluğuna göre iklim ve arazinin heterojenliğinden kaynaklı kar birikintilerinin mekânsal değişkenliğini yakalayamamaktadırlar (López-Moreno *et al.* 2013, Raleigh *et al.* 2016). Özellikle dik yamaçlar ve zorlu çevre koşullarının genellikle yüksek işletme maliyeti gerektirdiği uzak mesafelerde bulunan dağlık alanlarda yapılan yer bazlı kar ölçümleri genel olarak eksik veri kaydedilmesine neden olmaktadır (Viviroli *et al.* 2011).

Kar özelliklerini daha büyük ölçeklerde izleyerek artan rakım ile zorlaşan ölçümleri kolaylaştırmak amacıyla 1960 yıllarından bu yana uzaktan algılama (UA) yoluyla kar örtüsü haritalaması yapılmaktadır (Hall and Martinec 1985). Belirli koşullar altında (örneğin; gündüz veya bulut olmaması) Gascoin *et al.* (2015) kar örtüsünün UA yoluyla algılanması, karın çoğu kara yüzeyine göre yüksek albedosu ve bulutların kızılötesi (Infrared-IR) bandında yüksek yansıma özelliği nedeniyle nispeten daha kolaydır (Nolin 2010, Frei *et al.* 2012). Bulutların yanı sıra bitki örtüsü ve özellikle de kar örtüsü üzerinde gölge yapan ağaç tepe çatıları yüzey albedosunu azaltırken yüzeyi kısmen veya tamamen gölgelendirdiği yüzeylerde (Nolin 2004, Derksen 2008) görünür (VIS-visible) ve IR dalga boylarında kar örtüsünün algılanmasını engelleyebilmektedir (Robinson and Kukla 1985).

UA yoluyla elde edilen karla ilgili ölçümler saha bazlı ölçümler olmadığından dolayı ölçümlerdir. Dolayısıyla kantitatif olarak doğruluklarının ölçülmesi gerekmektedir (Dong and Peters-Lidard 2010, Frei *et al.* 2012). Bu nedenle UA yoluyla elde edilen kar ürünlerinin kapsamlı bir şekilde doğrulanarak güvenilirliklerinin doğru bir şekilde ölçülerek değerlendirilmesi, olası hataların belirlenmesi ve UA ile kar ürünü elde etmekte kullanılan algoritmaların iyileştirilmesine yönelik çalışmalar bakımından önemlidir (Dozier 1992, Foster *et al.* 1996, Brown *et al.* 2003, Hosaka *et al.* 2005, Clark *et al.* 2006).

UA yoluyla elde edilen yerel ve küresel ölçekteki kar ürünlerinin doğrulama çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan prosedürlerden birisi de yer bazlı ölçümlerle UA yoluyla elde edilen verilerin karşılaştırılarak test edilmesidir (Maurer *et al.* 2003, Tekeli vd. 2005, Riggs *et al.* 2006, Akyürek vd. 2007, Hall and Riggs 2007, Parajka and Blöschl 2008, Wang *et al.* 2009, Huang *et al.* 2011, Raleigh *et al.* 2013, Arsenault *et al.* 2014, Byun and Choi 2014, Sönmez *et al.* 2014, Sürer *et al.* 2014). Ancak mevcut yer bazlı doğrulama verilerinin bulunmaması durumunda da yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem düşük ve orta mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilen kar örtüsü ürünlerinin algoritma geliştirme ve doğrulama çalışmalarında daha yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinin referans olarak kullanılmasıdır (Salomonson and Appel 2004a, Sürer and Akyürek 2012, Crawford 2015, Metsämäki *et al.* 2016). Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS) 0.4-14.4 µm dalga boyu aralığında sahip olduğu üç farklı mekânsal çözünürlükteki 36 spektral bantı ve bir günlük yüksek zamansal çözünürlüğü ile yerel ve küresel ölçekte kar örtüsü haritalaması amacıyla oldukça yaygın olarak kullanılan bir araçtır (Hall *et al.* 2002, Rodell and Houser 2004, Poon and Valeo 2006, Shamir and Georgakakos 2006, Parajka and Blöschl 2008, Wang *et al.* 2008).

Kar örtüsünün uzaktan algılanmasını *i*) ikili (binary) haritalama ve *ii*) etkili karla kaplı alan (EKKA) haritalaması olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. İkili haritalama tekniğinde her bir piksel “kar” yada “kar değil” şeklinde etiketlenir. İlk MODIS ikili kar örtüsü algoritması Hall *et al.* (1995) tarafından geliştirilerek kar örtüsünün belirlenmesinde MODIS bant 4 ve bant 6'nın kullanıldığı Normalized Fark Kar İndisi'ni (Normalized Difference Snow Index-NDSI) kullanmıştır (Eşitlik (1.1)):

$$NDSI_{MODIS} = \frac{bant4 - bant6}{bant4 + bant6}. \quad (1.1)$$

Bu oran, kar örtüsünün bulut ve karla kaplı olmayan alanlardan ayırt edilmesini sağlamaktadır. Eşitlik 1.1' de ki algoritmaya göre: yoğun olmayan ormanlık alanlardaki bir pikselin kar olarak etiketlenmesi için; $NDSI \geq 0.4$, bant 2'nin reflektans değeri $> \%11$ ve bant 4 reflektans değeri $\geq \%10$ koşullarının sağlanması gerekmektedir (Klein and Barnett 2003). Algoritmanın daha sonraki ve geliştirilmiş versiyonlarında ise, yoğun ormanlık alanlarındaki kar örtüsü haritalamasının doğruluğunu arttırmak için MODIS bant 1 ve bant 2'nin kullanıldığı Normalize Fark Vejetasyon İndisi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) (Eşitlik (1.2) ve NDSI'nin kombinasyonu ile birlikte Klein *et al.* (1998) MODIS kızıl ötesi bantları ile oluşturulan termal maskeler kullanılmış olup, kar haritalarında bulunan kar olmayan ama kar olarak yanlış etiketlenen görüntüler doğru bir şekilde sınıflandırılmaktadır (Hall *et al.* 2006).

$$NDSI_{MODIS} = \frac{bant2 - bant1}{bant2 + bant1}. \quad (1.2)$$

Karla kaplı alanın (KKA) fraksiyonel özelliğinden (bir pikselin yüzde olarak ne kadarının karla kaplı olduğunun belirlenmesi) yoksun olması, kar örtüsünün oluşumu ve erime süresi boyunca KKA'nın mevsimsel dinamiklerinin tahminini zorlaştırmaktadır (Romanov *et al.* 2003, Dietz *et al.* 2012). Bu nedenle hidrolojik, iklimsel ve meteorolojik modellerde kar karakteristiklerini kullanmak için EKKA haritalarının üretilmesi gerekmektedir (Painter *et al.* 2003, Dietz *et al.* 2012).

EKKA haritalaması; bir pikselin mekânsal olarak yüzde kaçının kar örtüsü içerdiğinin tahminlenmesi prensibine dayanmaktadır. EKKA haritalaması; arazi örtüsü sınıflarının içerdiği türlerin alana ait oranının bir piksel içinde etiketleyerek daha düşük çözünürlüklü görüntülerde ortaya çıkan karışık piksel problemlerini çözemeye çalışsa da düşük çözünürlüğe sahip piksellerdeki kesin mekânsal dağılımını belirlemede yetersiz kalmaktadır (Verbeiren *et al.* 2008).

MODIS EKKA ürünü olan MOD10A1 Hall *et al.* (1995) bir MODIS pikselinde daha yüksek çözünürlüklü Landsat haritalarından üretilen referans EKKA haritaları kullanılarak elde edilmiş olan NDSI ve EKKA arasındaki istatistiksel ilişki temel alınarak üretilmektedir (Salomonson and Appel 2004b, Salomonson and Appel 2006). Koleksiyon 5 (C5) ve Koleksiyon 6 (C6)'da ki standart MODIS EKKA ürünü oluşturmak için kullanılan bu yöntemde; C6'daki KKA EKKA yerine NDSI KKA olarak sunulmaktadır. Bu nedenle EKKA hesaplanmasında C6'da ki NDSI KKA verilerine C5'de ki EKKA regresyon denklemi kullanılmalıdır (Riggs *et al.* 2016).

Bu çalışmanın temel amacı Sentinel 2 görüntülerinden üretilen ikili kar haritalarının MODIS EKKA ürünü olan MOD10A1'in doğrulanması amacıyla uygunluğunun değerlendirilerek, Türkiye 2017-2018 kar sezonu için MOD10A1 ürününün Sentinel 2 ikili kar görüntülerinden elde edilen referans EKKA haritalarıyla doğrulamasının yapılmasıdır. Sentinel 2, SPOT ve Landsat tipi görüntü verilerinin sürekliliğini artırarak, devam eden çok spektral gözlemlere katkıda bulunup, arazi yönetimi, iklim değişikliği, tarım ve ormancılık, afet kontrolü, insani yardım operasyonları, risk haritalama ve güvenlik gibi uygulamalara katkı sağlamak üzere Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA) tarafından işletilmekte olan iki adet ikiz çok spektral uydunun adıdır (URL 2).

Bu amaca yönelik olarak çalışmanın ilk aşamasında; referans EKKA haritaları, daha yüksek çözünürlükteki Sentinel 2 görüntülerinden (20 m) elde edilen ikili kar haritalarından üretilmiştir. Sentinel 2 ikili kar haritalarının oluşturulmasında üç farklı ikili kar haritalama algoritması kullanılmış olup bu haritaların doğruluğu Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen yer ölçüm istasyonlarından alınan günlük kar derinliği (KD) ölçümlerinden yararlanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise 2017-2018 Türkiye kar sezonuna ait Sentinel 2 görüntülerinden üretilen referans EKKA haritaları kullanılarak MOD10A1 görüntülerinin doğruluğu test edilmiştir. Ürünün doğruluk analizlerinde arazi tipi ve yükseklik faktörleride ayrıca göz önünde bulundurularak değerlendirmeler yapılmıştır.

Tezin kalan kısmı Őu Şekilde dŐzenlenmiŐtir:

Materyal ve YÖntem: Tezin ikinci bŐlŐmŐnde, çalışmada kullanılan Sentinel 2 ve MODIS uydu veri setleri tanıtılarak gŐrŐntŐlerin Őn işleme aşamaları hakkında bilgiler verilmiştir. Sentinel 2 ikili kar haritalarının MGM yer istasyonlarından alınan verilerle doğrulaması, referans EKKA haritalarının Őretimi ve MODIS gŐrŐntŐlerinin referans verileriyle karŐılaŐtırmasında kullanılan doğrulama metrikleri anlatılmıŐtır.

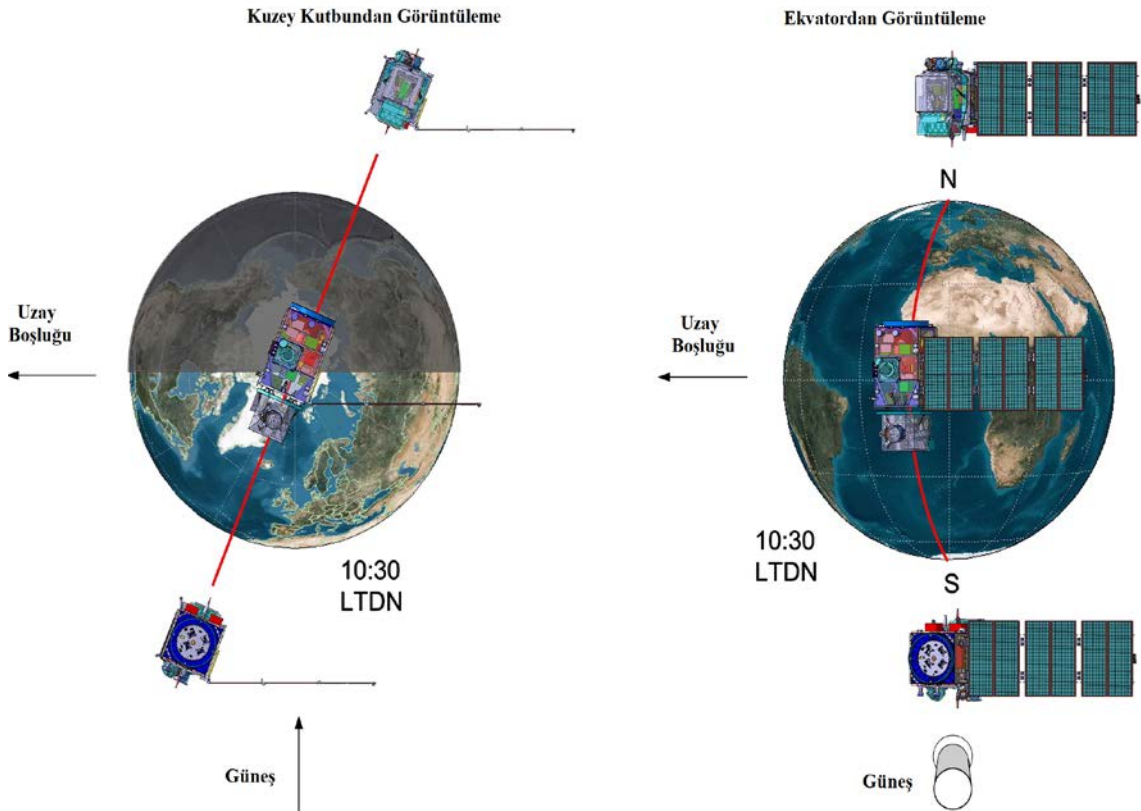
Bulgular: Tezin ŐçŐncŐ bŐlŐmŐnde Sentinel 2 referans ikili kar haritaları ile yer tabanlı ŐlçŐmlerin doğrulama sonuçları ve Őretilen referans EKKA haritaları ile MODIS MOD10A1 ŐrŐnŐnŐn doğrulama analizlerinden elde edilen sonuçlar sunulmuŐur.

Tartışma ve Sonuç: Tezin dŐrdŐncŐ ve son bŐlŐmŐnde, çalışmada elde edilen genel bulgular ve sonuçlar değerlendirilerek, gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında fikirler belirtilmiŐtir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Sentinel 2 Görüntü Seti ve İkili Kar Haritalarının Oluşturulması

Sentinel 2, okyanus, kara ve atmosferik gözlemler yapabilmek için ESA tarafından geliştirilmiş çok spektral ve yüksek çözünürlüklü bir görüntüleme aracıdır. Sentinel 2, 2A ve 2 B olarak iki özdeş uydudan oluşur (Şekil 2.1). Sentinel 2A 23 Haziran 2015, Sentinel 2B 7 Mart 2017 tarihinde faaliyete geçmiştir. Bu uydular; 56° güney ve 84° kuzey enlemleri arasında, 180° açıyla ve 786 km yükseklikte güneş eşzamanlı yörüngede çalışırlar (Çizelge 2.1). Sentinel 2 uydularının her biri yaklaşık 1.2 ton ağırlığındadır. Sentinel 2 290 km^2 iz tarama genişliği ile ekvatorunda 5 gün ve orta enlemlerde $2/3$ gün gibi yüksek zamansal çözünürlüğe sahiptir (Drusch *et al.* 2012).



Şekil 2.1 İkiz uydular Sentinel 2 yörüngesel yapılandırma (Drusch *et al.* 2012)

Çizelge 2.1 Sentinel 2 özellikleri (Drusch *et al.* 2012)

Özellikler	Veri
Görev Ömrü	15 yıl
Uydu Sayısı	2
Yörünge Süresi	7.25 yıl ile sarf malzemeleri için 5 yıl
Nominal Yörünge	Güneş senkronizasyonu 786 km (ortalama irtifa), 10:30 LTDN
Arazi Kapsamı	- 56° to + 84°
Küresel Tekrar Ziyaret Süresi	< 5 gün
Küresel NRT Gecikme Süresi	< 2 saat
Yüksek Kaliteli Misyon Ürünleri	Level 0. 1
Görev Aşamaları	LEOP, devreye alma, işletme, yörüngede

Sentinel 2 0.4-2.2 µm dalga boylarında VIS ve yakın kızılötesi (Near Infrared-NIR) ile kısa dalga kızılötesi (Shortwave Infrared-SWIR) arasında uzanan 13 spektral bantlı 10 m ila 60 m arasında mekânsal çözünürlüklü optik görüntüler sağlar (Çizelge 2.2) (Drusch *et al.* 2012). Sentinel 2 optik ölçümler için 10 m'de dört VIS ve NIR bant; bitki örtüsü için 20 m'de kırmızı dört NIR bantı; kar, buz ve bulut ayırt etmek için 20 m iki SWIR bant; atmosferik düzeltme için ise 60 m'de su buharı, aerosol ve sirus bulutlarının algılanmasına yönelik 3 adet spektral banta sahiptir (Malenovský *et al.* 2012).

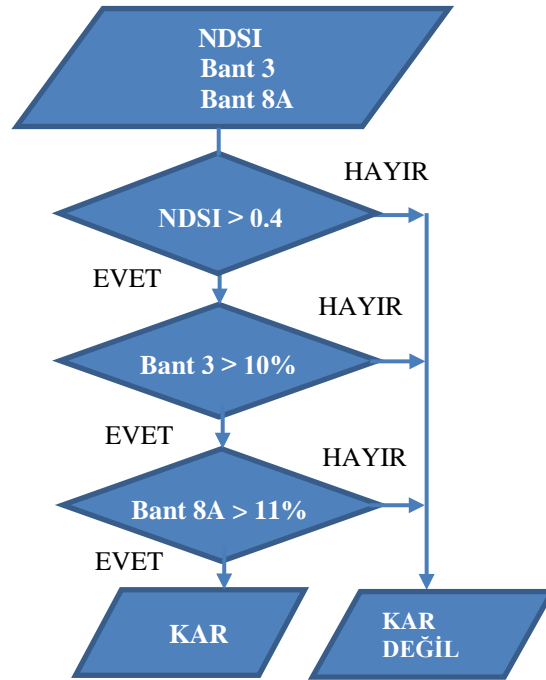
Çizelge 2.2 Sentinel 2 spektral bantlar (Drusch *et al.* 2012)

Bant Numarası	Sentinel 2A		Sentinel 2B		Mekânsal Çözünürlük (m)
	Merkez Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	Merkez Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	
1	443.9	27	442.03	45	60
2	496.6	98	492.1	98	10
3	560.0	45	559	46	10
4	664.5	38	665	39	10
5	703.9	19	703.8	20	20
6	740.2	18	739.1	18	20
7	782.5	28	779.7	28	20

Çizelge 2.2 Sentinel 2 spektral bantlar (Drusch *et al.* 2012)(Devam)

Bant Numarası	Sentinel 2A		Sentinel 2B		Mekânsal Çözünürlük (m)
	Merkez Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	Merkez Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	
8	835.1	145	833	133	10
8a	864.8	33	864	32	20
9	945.0	26	943.2	27	60
10	1373.5	75	1376.9	76	60
11	1613.7	143	1610.4	141	20
12	2202.4	242	2185.7	238	20

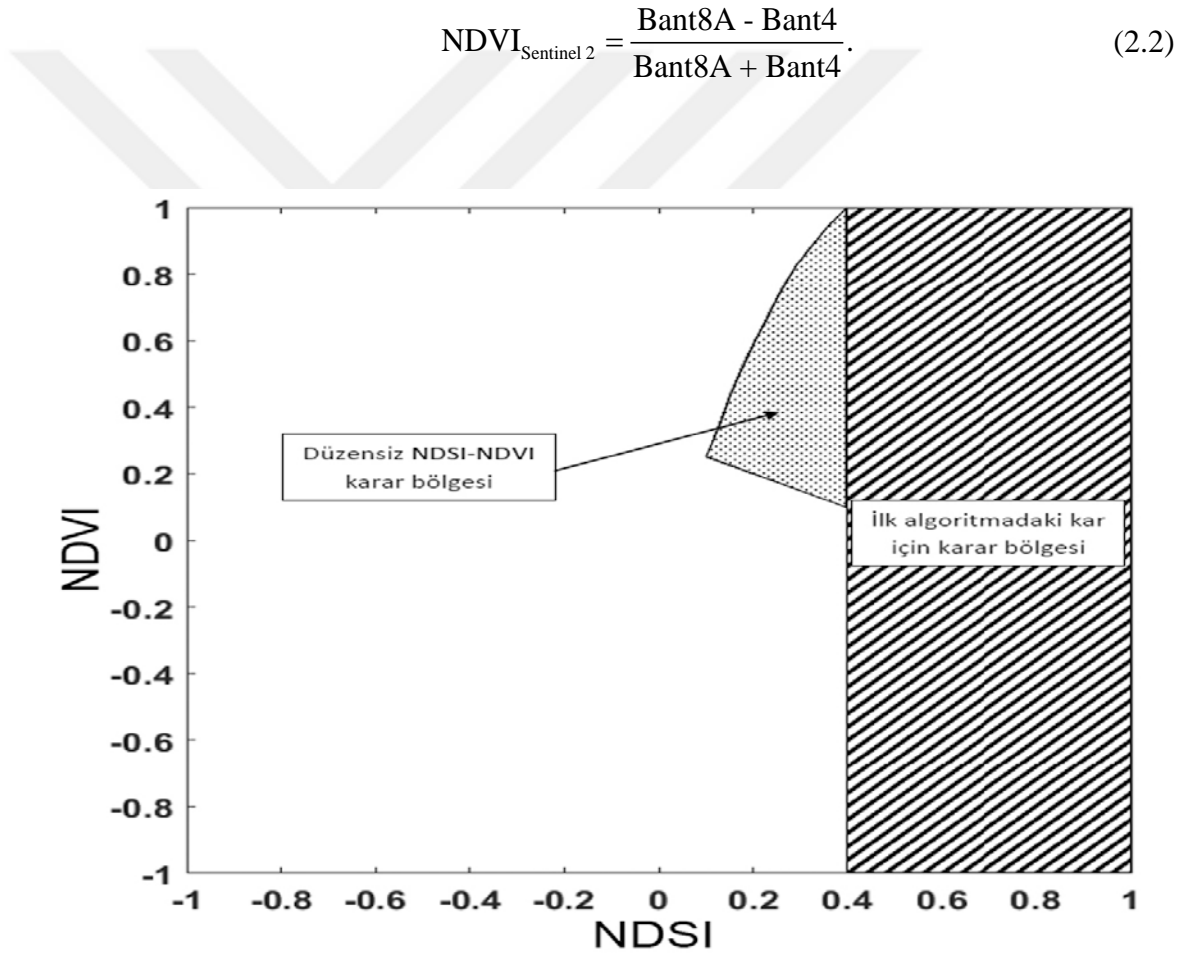
Sentinel 2 ikili referans kar haritaları (kar/kar değil) üç farklı ikili kar haritalama algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan ilk algoritma orijinal MODIS ikili kar haritalama algoritmasının Hall *et al.* (1995) Sentinel 2 için eşdeğeri olup (Eşitlik 2.1) yoğun ormanlık olmayan bir Sentinel 2 pikselinin kar olarak etiketlenebilmesi için bant 3 ve bant 11 reflektans değerlerinden üretilen ve Eşitlik 2.1’de verilen NDSI değerinin ≥ 0.4 , bant 3 reflektans değerinin $\geq 10\%$ ve bant 8A reflektans değerinin $> 11\%$ olması koşullarının aynı anda sağlanması gerekmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Sentinel 2 için ikili kar haritalama algoritması

$$\text{NDSI}_{\text{Sentinel 2}} = \frac{\text{Bant3} - \text{Bant11}}{\text{Bant3} + \text{Bant11}} \quad (2.1)$$

İkinci algoritma (Hall *et al.* 1998) birinci algoritmanın geliştirilmiş versiyonu olup, yoğun ormanlık alanlarda kar sınıflandırma doğruluğunu arttırmak amacıyla ilk algoritmada bir pikselin kar olarak sınıflandırılabilmesi için istenilen koşullara ek olarak düzensiz bir NDSI-NDVI, (Eşitlik 2.2) karar bölgesi koşuluna sahiptir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 İkinci algoritmada kullanılan düzensiz NDSI-NDVI karar bölgesi (Hall *et al.* (1998)'den uyarlanmıştır)

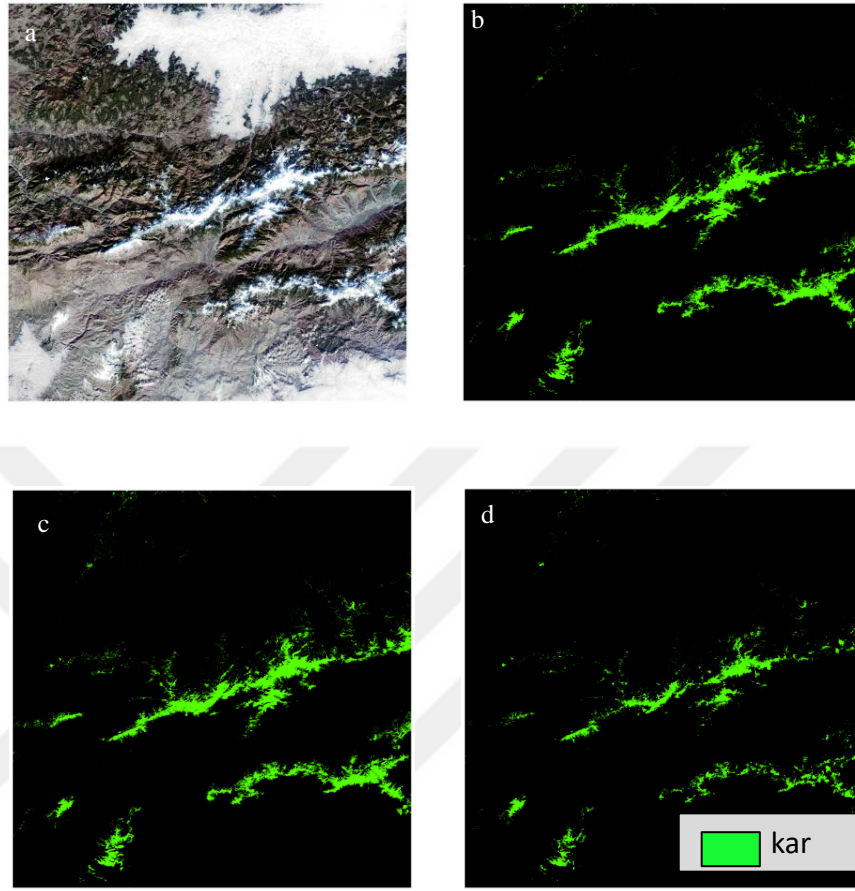
İkili kar haritalarının üretilmesinde kullanılan üçüncü algoritma ise ESA tarafından sağlanan ve Sentinel 2 Seviye-2A sınıflandırılmış görüntünün elde edilmesi için

kullanılan Sen2Cor v2.5.5 arazi sınıflandırma modülüdür. Sen2Cor on ana modülden oluşmakta olup, optimal olarak düzeltilmiş atmosfer altı reflektans görüntüleri oluşturmak için Sentinel 2 Seviye-1C giriş verilerinin atmosferik, arazi ve sirus düzeltme işlemlerini yapabilmektedir. Sen2Cor v.2.5.5 arazi sınıfları Çizelge 2.3’de verilmiştir (URL3). Bu üç algoritma kullanılarak elde edilen Sentinel 2 ikili kar haritaları 20 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir.

Çizelge 2.3 Sen2Cor arazi sınıfları (URL3)

Etiket	Sınıf
0	Veri Yok
1	Doymuş / kötü
2	Koyu alan
3	Bulut Gölgesi
4	Bitki örtüsü (vegetasyon)
5	Bitki örtüsü yok
6	Su
7	Sınıflandırılmış
8	Bulut (orta olasılık)
9	Bulut (yüksek olasılık)
10	İnce sirus
11	Kar

Bu üç farklı ikili kar haritalama algoritması kullanılarak Sentinel 2 ikili referans kar haritaları (kar/kar değil) elde edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 (a) RGB gerçek görüntü, (b) Algoritma 1, (c) Algoritma 2, ve (d) Algoritma 3 (Sentinel 2 ikili kar haritası T36TWL karosunun 7-Ocak-2018 tarihli görüntüsü)

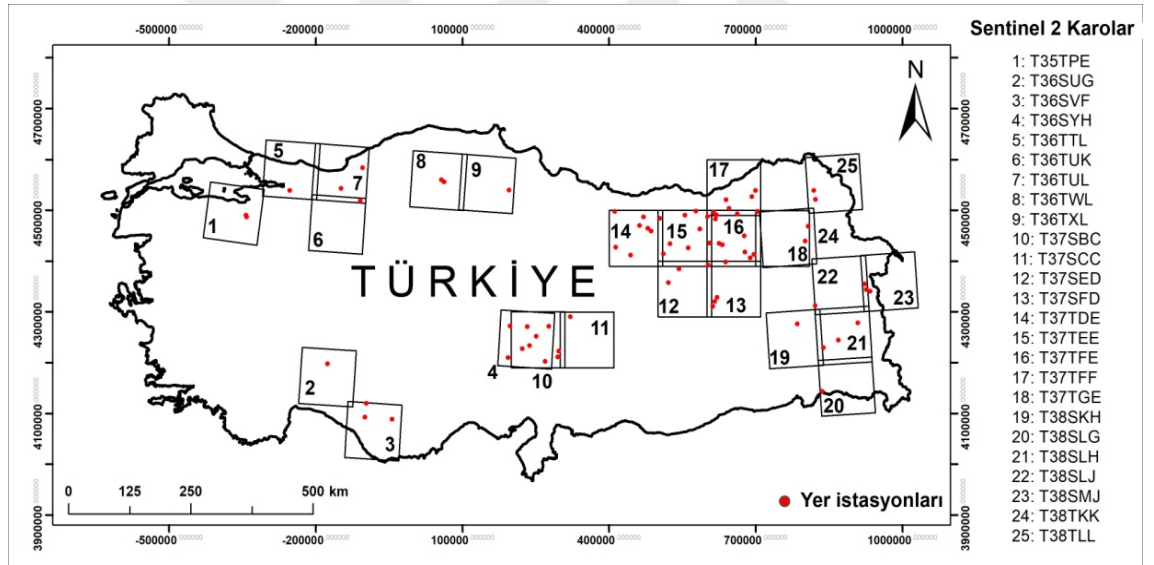
2.2 Sentinel 2 İkili Kar Haritalarının Yer Verisiyle Doğrulanması

Bölüm 2.1’de bahsedilen üç farklı algoritma uygulanarak üretilen ve referans EKKA haritalarının üretilmesinde kullanılacak olan Sentinel 2 ikili kar haritalarının doğruluğunun analiz edilmesi çalışmanın önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Sentinel 2 ikili kar haritalarının doğruluğunu değerlendirmek için, MGM tarafından işletilen otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarından (AWOS: Automated Weather Observing System-Otomatik Hava Gözlem Sistemi ve SPA: Snow Pack Analyser-Kar Analizörü) (Şekil 2.5) elde edilen kar verileri kullanılmıştır. Günlük KD değerleri, bu istasyonlardan gelen ham verilerin işlenmesi ve filtrelenmesi yoluyla elde edilmiştir. İkili kar

haritalarının doğruluk analizlerinde toplam 75 yer istasyonundan elde edilen 286 KD ölçümleri ve Kasım 2017 ile Nisan 2018 arasında alınan 205 Sentinel 2 görüntüsü kullanılmıştır. Yer istasyonları ve Sentinel 2 karoların konumları Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.5 1) Kızılcahamam SPA istasyonu 2) AWOS Ilgaz Dağı ve 3) Nemrut Dağı SPA istasyonu (Kuter ve Akyurek 2018)



Şekil 2.6 Sentinel 2 ikili kar haritalarının doğruluk analizinde kullanılan yer istasyonları ve Sentinel 2 karoların konumları

Sentinel 2 ikili kar haritalarının yer tabanlı verilere göre doğrulamasında Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (World Meteorological Organization-WMO) 2008'de belirtilen prosedür baz alınmıştır. Yer tabanlı yapılan ölçümlere göre, 5 cm'lik KD eşiği aşıldığında

ilgili piksel “kar” olarak, KD değeri 5 cm’nin altında ise “kar değil” olarak etiketlenmektedir.

Sentinel 2 ikili kar haritalarının yer verisiyle karşılaştırılmasında Çizelge 2.4’de gösterilen ikili hata matrisi ve bu matristen üretilen aşağıdaki performans değerlendirme metrikleri kullanılmıştır (Doswell III *et al.* 1990):

- Algılama olasılığı-Probability of detection (POD) = $A/(A+C)$
- Yanlış alarm oranı-False alarm ratio (FAR) = $B/(A+B)$
- Yanlış algılama olasılığı-Probability of false detection (POFD) = $B/(B+D)$
- Doğruluk-Accuracy (ACC) = $(A+D)/(A+B+C+D)$
- Kritik başarı endeksi - Critical success index (CSI) = $A/(A+B+C)$
- Heidke puanı-Heidke skill score (HSS) = $2(AD-BC) / [(A+C)(C+D) + (A+B)(B+D)]$

Çizelge 2.4 İkili hata matrisi

		<i>Yer İstasyon Verisi</i>		
		kar (KD ≥ 5)	kar değil (KD < 5)	
<i>Uydu Görüntüsü</i>	kar	HITS (A)	FALSE ALARMS (B)	HITS + FALSE ALARMS
	kar değil	MISSES (C)	CORRECT NEGATIVES (D)	MISSES+ CORRECT NEGATIVES
		HITS + MISSES	FALSE ALARMS + CORRECT NEGATIVES	

2.3 MODIS Verisi ve Ön İşleme Aşamaları

İki çapraz izlemeli (çift taraflı tarama aynalı) radyometrik bir cihaz olan MODIS, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration–NASA) tarafından tasarlanarak ilk olarak Terra uydusuna, ardında da Aqua uydusuna entegre

edilmiştir. Terra uydusu 18 Aralık 1999 tarihinde faaliyete başlarken Aqua uydusu ise 4 Mayıs 2002 tarihinde devreye girmiştir (Qu *et al.* 2006).

4 Şubat 2000 tarihinde veri almaya başlayan Terra uydusunun güneş eş zamanlı kutuplara yakın dairesel yörüngesi, sabahları saat 10:30 civarı ekvator boyunca kuzeyden güneye doğru geçecek şekilde ayarlanırken, 24 Haziran 2002 tarihinde veri almaya başlayan Aqua uydusunun güneşe senkronize kutuplara yakın dairesel yörüngesi ise; saat 13:30 civarında ekvatoru güneyden kuzeye geçecek şekilde ayarlanmıştır. Her bir sensör; 750 km'lik yükseklikten 2330 km iz tarama genişliği ve $\pm 55^\circ$ 'lik izleme açısıyla 10 km'lik bir alanı tarayarak dünya yüzeyinin tamamını 1-2 günde görüntülemektedir. MODIS 0.405-14.385 μm dalga boyu aralığında 3 farklı mekânsal çözünürlükte (250 m, 500m ve 1000 m) 36 spektral banta sahiptir (Çizelge 2.5) (Salomonson *et al.* 1989). MODIS'in teknik özellikleri özet olarak Çizelge 2.6'da verilmiştir (Qu *et al.* 2006).

Çizelge 2.5 MODIS spektral bantlar (Salomonson *et al.* 1989)

Bant	Aralık (μm)	Ortalama (μm)	Kullanma
250 m mekânsal çözünürlükte yansıtıcı güneş bantları			
1	0.620 - 0.670	0.659	Aerosol, bulut, arazi
2	0.841 - 0.876	0.865	
500 m mekânsal çözünürlükte yansıtıcı güneş bantları			
3	0.459 - 0.479	0.470	Aerosol and bulut optik kalınlığı, bulut fazı, bulut etkili yarı çapı, bulut maskesi, kar, arazi
4	0.545 - 0.565	0.555	
5	1.230 - 1.250	1.240	
6	1.628 - 1.652	1.640	
7	2.105 - 2.155	2.130	
1000 m mekânsal çözünürlükte yansıtıcı güneş bantları			
8	0.405 - 0.420	0.412	Okyanus rengi, klorofil, fitoplankton, biyojeokimyası
9	0.438 - 0.448	0.443	
10	0.483 - 0.493	0.448	
11	0.526 - 0.536	0.531	
12	0.546 - 0.556	0.551	Tortular, atmosfer
13	0.662 - 0.672	0.667	
14	0.673 - 0.683	0.678	Floresan
15	0.743 - 0.753	0.748	Atmosfer, aerosol
16	0.862 - 0.877	0.869	
17	0.890 - 0.920	0.905	Atmosferik toplam çöktürülebilir su buharı, bulutlar
18	0.931 - 0.941	0.936	
19	0.915 - 0.965	0.940	
26	1.360 - 1.390	1.375	Sirüs bulutu

Çizelge 2.5MODIS spektral bantlar (Salomonson *et al.* 1989) (devam)

Bant	Aralık (µm)	Ortalama (µm)	Kullanma
1000 m mekânsal çözünürlükte termal emisyon bantları			
20	3.660 - 3.840	3.750	Bulut ve yüzey, sıcaklık, ateş ve volkan, deniz yüzeyindeki sıcaklık
21	3.929 - 3.989	3.960	
22	3.929 - 3.989	3.960	
23	4.020 - 4.080	4.050	
24	4.433 - 4.498	4.470	Atmosferdeki sıcaklık profili
25	4.482 - 4.549	4.520	
27	6.535 - 6.895	6.720	Troposferik su buharı
28	7.175 - 7.475	7.330	
29	8.400 - 8.700	8.550	Bulut parçacığı yarığı
30	9.580 - 9.880	9.730	Toplam ozon
31	10.780 - 11.280	11.030	Bulut, yüzey sıcaklığı, ateş
32	11.770 - 12.270	12.020	Bulut, yüzey sıcaklığı, ateş
33	13.185 - 13.485	13.340	Bulut üst yükseliği, sıcaklık, basınç, sıcaklık profili
34	13.485 - 13.785	13.640	
35	13.785 - 14.085	13.940	
36	14.085 - 14.385	14.240	

Çizelge 2.6 MODIS'in özellikleri (Qu et al. 2006)

Özellikler	Veri
Yörünge	750 Km, 10:30 ve 13:30 Güneş eş zamanlı, kutuplara yakın, dairesel
Tarama Hızı	20.3 rpm, Çapraz izli
Swath Boyutları	2330 km (enine iz boyunca) 10 km (nadir boyunca)
Teleskop	17.78 cm çapında eksen dışı, paralel, orta saha durdurmalı
Boyut	1.0 x 1,6 x 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)
Miktar	12 bit
Mekânsal Çözünürlük	250 m (1-2 bant), 500 m (3-7 bant), 1000 m (8-36 bant) Tasarım ömrü: 6 yıl

Küresel kar örtüsü de dahil olmak üzere, birçok küresel ölçekli ürün MODIS verilerinden elde edilmektedir. MODIS kar ve buz ürünleri, 13 Eylül 2000 tarihinden itibaren kullanıma sunulmuştur. MODIS ürünlerinin 2330 km'lik geniş bir tarama alanı ile birlikte 500 m'lik mekânsal çözünürlüğe sahip olması çoğu kar örtüsü ve bulutun birbirinden ayırt edilmesine olanak sağlamaktadır. Terra MODIS aracının 13 Ocak 2002 tarihinde görüntülenmiş Türkiye görüntüsü Şekil 2.7'de yer almaktadır (URL4). Ayrıca MODIS'in kar haritalama algoritmaları otomatikleştirildikleri için KKA bilgisine ihtiyaç duyulan

uzun vadeli iklim çalışmalarında tutarlı bir veri seti oluşturmaktadır. MODIS kar ürünlerinin üretilmesinde kullanılan bantlar Çizelge 2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.7 13 Ocak 2002 tarihinde Terra MODIS ile görüntülenmiş Türkiye görüntüsü (URL4)

Çizelge 2.7 MODIS kar ürünlerinin üretilmesinde kullanılan bantlar (Hall and Riggs 2007)

Bant Numarası	Bant Genişliği (μm)	Terra ve/veya Aqua
1	0.620-0.670	Terra – Aqua
2	0.841-0.876	Terra – Aqua
3	0.459-0.749	Terra – Aqua
4	0.545-0.565	Terra – Aqua
5	1.230-1.250	Terra – Aqua
6	1.628-1.672	Terra
7	2.105-2.155	Aqua
31	10.780-11.280	Terra – Aqua
32	11.770-12.270	Terra – Aqua

Kar, VIS optik dalga boylarındaki yüksek, SWIR dalga boylarındaki düşük yansıma özelliğinden dolayı NDSI denklemi kullanılarak bulutlardan ve diğer yüzey özelliklerinden ayırt edilebilmektedir. VIS ve SWIR kanallarına sahip sensörler için geçerli olan temel NDSI eşitliği aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$NDSI = \frac{(VIS - SWIR)}{(VIS + SWIR)}. \quad (2.3)$$

MODIS için NDSI hesaplaması Eşitlik (2.3)'de verildiği gibi bant 4 (0.545-0.565 μm) ve bant 6 (1.628-1.652 μm) reflektans değerleri kullanılarak yapılır.

Bununla birlikte bitki örtüsü için benzer bir indis olan NDVI'nin, yıl boyunca küresel bitki örtüsü koşullarını izlemek için etkili olduğu kanıtlanmıştır (Tucker 1979). NDVI hesaplanırken NIR ve kırmızı (Red-R) bantlar aşağıdaki eşitlikte verildiği gibi kullanılmaktadır:

$$NDSI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}. \quad (2.4)$$

MODIS için NDVI hesaplaması Eşitlik (2.4)'de verildiği gibi bant 1 (0.620-0.670 μm) ve bant 2 (0.841-0.876 μm) reflektans değerleri kullanılarak yapılır.

2.3.1 MODIS kar ürünleri

MODIS kar örtüsü verileri, NDSI ve diğer kriter testlerini kullanan bir kar haritalama algoritmasına dayanmaktadır. MODIS kar ürün paketi, 500 m ve 0.05 derece mekânsal çözünürlüklü, günlük, 8 günlük ve 1 aylığa kadar değişen zamansal çözünürlükleri kapsayan ürünlerden oluşmaktadır.

Terra ve Aqua uydularının kar örtüsü algoritmaları ve veri setleri yeni sürüm ürün olan C6'da büyük ölçüde revize edilmiştir. Eski sürüm olan C5'de kullanılan EKKA, NDSI kar örtüsüyle değiştirildiğinden EKKA hesaplamasına son verilmiştir. NDSI ile EKKA karşılaştırıldığında; NDSI kardaki her piksel ile ilgili olduğundan kar örtüsü belirlenmesinde daha kesin sonuçlar vermektedir. İkili KKA (binary snow-covered area-SCA) haritası kaldırılmıştır. C5'de yer alan kar haritalama hatalarını azaltmak amacıyla tasarlanan veri ekranları revize edilerek yeni ekranlar eklenmiş, algoritma sonuçlarının genel kalitesini göstermek amacıyla kar örtüsü algılama ile ilgili geri dönüşler ve hataları

yeni kriterler kullanılarak temel piksel düzeyindeki yeni bir kalite değerlendirme (Quality Assessment-QA) bit etiketi altında saklanmıştır (Riggs *et al.* 2015). C5 için veri işleme 31 Aralık 2016 tarihinde sona ermiştir. Tüm ürünlerde EKKA sağlanırken, 500 m mekânsal çözünürlüklü ürünlerde kar albedosu sağlanmıştır. 500 m çözünürlükteki ürünlerin mutlak kesinliği, arazi örtüsü ve kar örtüsünün durumuna bağlı olarak ~%93'tür (Riggs *et al.* 2006).

Veri işleme seviyeleri Seviye 0 ile Seviye 4 kadar uzanan MODIS'in işlenmemiş uydu görüntüleri Seviye 0 verileriyle verilmektedir (Vermote *et al.* 2011). Seviye 1B (L1B), 1000 m'lik mekânsal çözünürlükteki piksellerin enlem ve boylam merkezlerine konumlandırılmış verilerinin bir ürünüdür. Seviye 2 (L2) ürünü, L1B'nin enlem ve boylam yönlerinde kalan jeofiziki bir üründür. Seviye 2 ızgara (L2G) ürününün, MODIS arazi ürünleri için sinüsoidal projeksiyonu ızgara biçimindedir. L2G'de, veri ürünleri, karo olarak adlandırılırken, her bir karo küresel harita projeksiyonunun $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ u kadardır. L2 veri ürünleri, L2 piksellerini harita projeksiyon ızgarasındaki bir karonun hücrelerine eşleyerek L2G döşemelerine ızgaralamaktadır. L2G algoritması, Seviye 3 ürünler için gerekli olan ızgaralandırılmış bir ürün oluşturur. Seviye 3 (L3) ürünü, yerküreye ait bir karo olarak gelen, geçici ve mekânsal olarak manipüle edilmiş harita projeksiyon formatında olan jeofizik bir üründür. MODIS L3 kar ürünleri sinüsoidal veya coğrafi projeksiyonda yer almaktadır (Çizelge 2.8) (Riggs *et al.* 2015).

Çizelge 2.8 MODIS Terra ve Aqua kar veri ürünleri, Terra MOD ve Aqua MYD ürünleri M * D ile gösterilmiştir (Riggs *et al.* 2015)

Verinin Tipi	Ürün Seviyesi	Görüntü Boyutu	Mekânsal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Projeksiyon
M*D10_L2	L2	1354 km ×2000 km	500 m	5 min Swath	Yok. (Enlem, boylam ref.)
M*D10GA	L2G	1200 km ×1200 km	500 m	gün	Sinüsoidal
M*D10A1	L3	1200 km ×1200 km	500 m	gün	Sinüsoidal
MOD10A1S	L3	1200 km ×1200 km	500 m	8 gün	Sinüsoidal
M*D10A1F	L3	1200 km ×1200 km	500 m	gün	Sinüsoidal

Çizelge 2.8 MODIS Terra ve Aqua kar veri ürünleri, Terra MOD ve Aqua MYD ürünleri M * D ile gösterilmiştir (Riggs *et al.* 2015) (devam)

Verinin Tipi	Ürün Seviyesi	Görüntü Boyutu	Mekânsal Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Projeksiyon
M*D10C1	L3	360° × 180° (küresel)	0.05° × 0.05°	gün	Coğrafik
M*D10C1F	L3	360° × 180° (küresel)	0.05° × 0.05°	gün	Coğrafik
M*D10A2		1200 km x1200 km	500 m	gün	Sinüzoidal
M*D10C2	L3	360° × 180° (küresel)	0.05° × 0.05°	8 gün	Sinüzoidal
M*D10CM	L3	360° × 180° (küresel)	0.05° × 0.05°	ay	Coğrafik

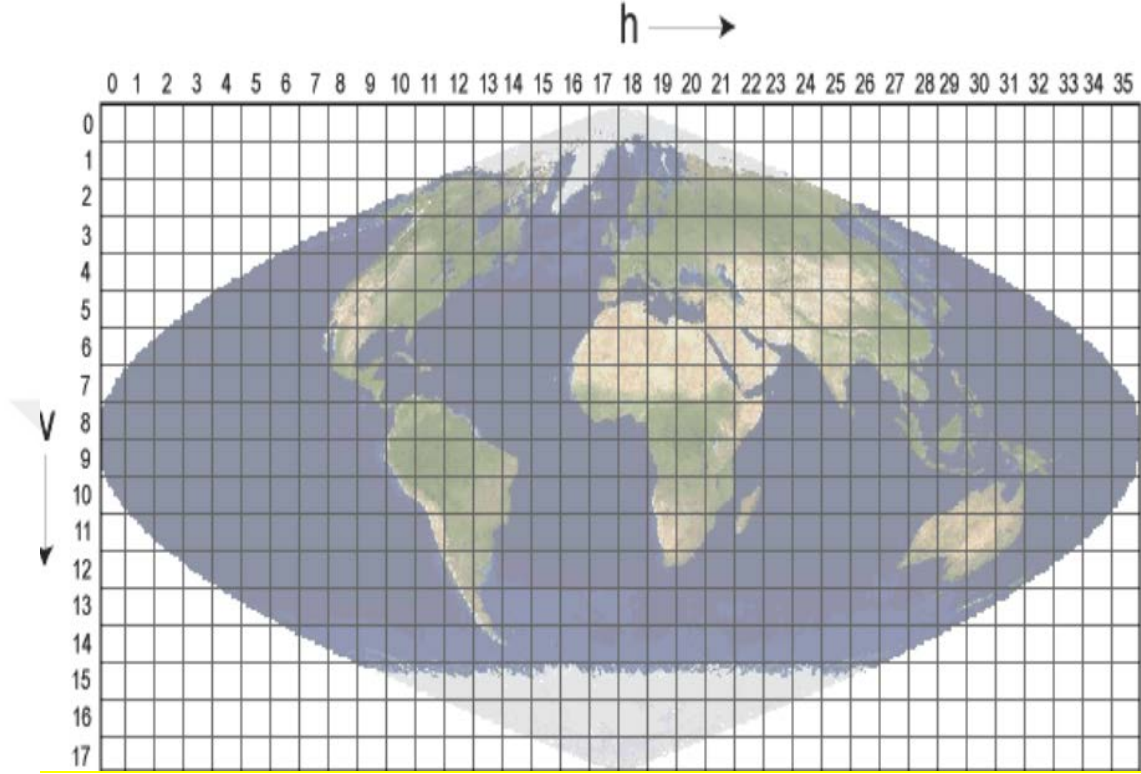
MODIS kar ürünleri hiyerarşik veri formatında (Hierarchical Data Format-HDF) arşivlenmektedir (URL5). HDF, dünya gözlem sistemi (Earth Observing System-EOS) veri bilgi sistemi (EOS Data Information System- EOSDIS) ürünleri için Ulusal Süper Hesaplama Uygulamaları Merkezi (National Center for Supercomputing Applications–NCSA) tarafından geliştirilen standart arşiv formatıdır. Kar ürünü dosyaları, bilimsel veri kümeleri (Scientific Data Sets-SDS) ve meta verileri (metadata) içerir (URL6).

HDF veri formatındaki MODIS dosya isimlerine bir örnek vermek gerekirse; “MOD10A1.A2017363.h19v04.006.2017365025246.hdf” şeklindedir. Dosya isminin açılımı ise şu şekildedir; MOD10A1–Ürünün kısa adı (MOD: Terra veya MYD: Aqua), A2017363–Verinin alındığı jülyen tarihini (A-YYYYDDD), .h19v04–Karo numarası (yatayXX–dikeyYY), .005–sürüm (koleksiyon) versiyonu, .2017365025246–Ürünün üretildiği jülyen tarihini (YYYYDDHHMMSS), .hdf–Veri formatı (HDF-EOS).

2.3.1.1 MODIS MOD10A1 kar ürünü

MOD10A1 MODIS'e özgü bir küresel sinüsoidal projeksiyonda yapılan gözlemler sonucunda MOD10_L2 kar ürününden MOD10_L2G kar ürününün her bir hücrenin coğrafik konumlarına göre eşlenmesiyle üretilmektedir. Üretilen pikseller en iyi NDSI, kar albedosu ve QA verilerini içermektedir. MOD10A1 kar ürününün bir karosu

sinüsodial bir harita projeksiyonu üzerinde yaklaşık olarak $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ (1200 km x 1200 km) alana sahiptir (Şekil 2.8) (Riggs *et al.* 2015).



Şekil 2.8 MODIS sinüsodial ızgara şema (Vermote *et al.* 2011)

C6 sürümündeki MOD10A1 algoritması, ilk katman SDS'lerini MOD10GA'dan okur, bazı tanımlayıcı QA istatistiklerini, ilk katman SDS'leri ve tanımlayıcı meta verileri hesaplayarak bazı meta verileri de MOD10GA'dan MOD10A1'e kopyalamaktadır (Riggs and Hall 2015).

NDSI değeri 0.0 dan büyük olan bir pikselde kar örtüsü mevcut olup, $NDSI \leq 0.0$ değerleri karsız kara piksellerine karşılık gelmektedir. C6'da EKKA NDSI cinsinden %0-100 aralığında verilmektedir. C5 ürününe doğrudan sunulan EKKA değerlerinin C6 ürünü için hesaplanması aşağıda verilen regresyon denklemi (Eşitlik 2.5) kullanılarak yapılmaktadır (Salomonson and Appel 2006):

$$EKKA = -0.01 + 1.45 \times NDSI. \quad (2.5)$$

2.3.2 MODIS sayısal yükseklik modeli

Çalışmada MOD10A1 ürününün performansının arazi yüksekliğine bağlı değişimini incelemek amacıyla sayısal yükseklik modeli (Digital elevation model-DEM) olarak MODIS'e ait 500 m mekânsal çözünürlüğe ve coğrafi harita projeksiyonuna sahip MODDEMHKM ürünü kullanılmıştır (Wolfe 2013). Analizlerden önce, tüm DEM karolar ilgili Sentinel 2 görüntülerin projeksiyonuyla eşleşmesi amacıyla ortak WGS/UTM koordinat sistemine yeniden projeksiyonlandırılmıştır. Arazi yükseklik verileri 6 sınıfta kategorize edilmiş olup Çizelge 2.9'da sunulmuştur.

Çizelge 2.9 Arazi yükseklik kategorileri (Wolfe 2013)

Kategori	Yükselik aralığı (m)
1	<500
2	500-1000
3	1000-1500
4	1500-2000
5	2000-2500
6	≥2500

2.3.3 MODIS arazi kullanım sınıfları

Çalışmada MOD10A1 ürününün performansının arazi tipine bağlı değişimini incelemek amacıyla arazi kullanım sınıfları MODIS'e ait Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı (International Geosphere Biosphere Programme-IGBP) çerçevesinde 2001 yılından itibaren MODIS reflektans verilerinin kontrollü sınıflandırması yoluyla yıllık olarak üretilen 500 m mekânsal çözünürlüğe sahip MCD12Q1 arazi örtüsü tipi ürününden elde edilmiştir (Sulla-Menashe and Friedl 2018). Ürün toplamda 17 arazi tipinden oluşmakta olup, bu çalışmada benzer arazi tipleri birleştirilerek toplam 9 arazi sınıfına indirgenmiştir. Orijinal ve birleştirilmiş arazi sınıfları Çizelge 2.10'da verilmiştir (Sulla-Menashe and Friedl 2018). Analizlerden önce, tüm MCD12Q1 karolar ilgili Sentinel 2

görüntülerin projeksiyonuyla eşleşmesi amacıyla ortak WGS/UTM koordinat sistemine yeniden projeksiyonlandırılmıştır.

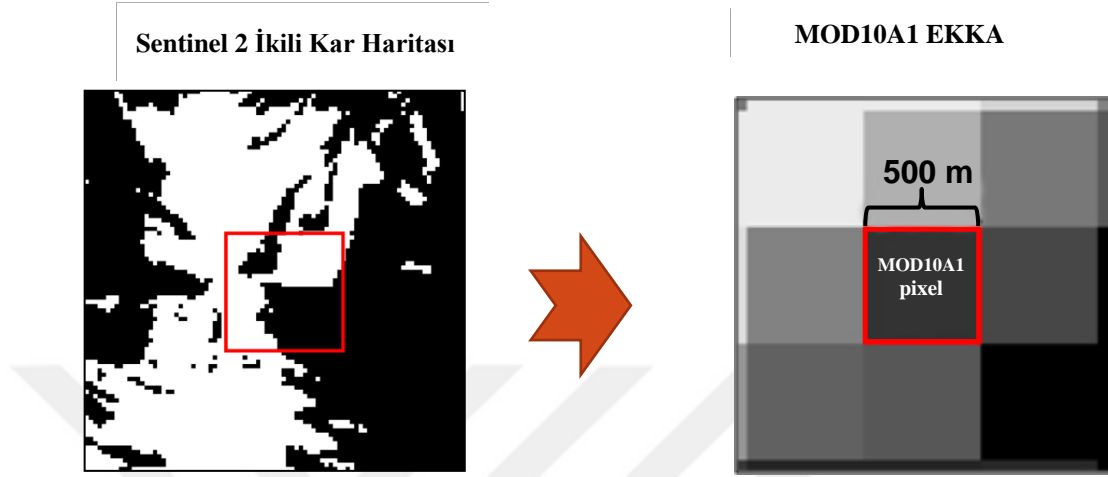
Çizelge 2.10 Çalışmada kullanılan arazi örtüsü sınıfları (Sulla-Menashe and Friedl

Arazi sınıfları	Orijinal IGBP arazi örtüsü sınıfları	Yeniden sınıflandırılan arazi örtüsü sınıfları
1	Her dem yeşil iğne yapraklı orman	Her dem yeşil orman
	Her dem yeşil geniş yapraklı orman	
2	Yaprak döken iğne yapraklı orman	Yaprak döken orman
	Yaprak döken geniş yapraklı orman	
3	Karışık orman	Karışık orman
4	Sık çalılıklar	Çalılıklar / otlaklar
	Seyrek çalılıklar	
	Otlaklar	
5	Odunsu makilikler	Makilikler
	Makilikler	
6	Tarım arazisi	Karışık tarım
	Kentsel alan	
	Tarım arazi/doğal bitki örtüsü mozaığı	
7	Çorak / seyrek bitki örtüsü	Çorak / seyrek bitki örtüsü
8	Kalıcı sulak alanlar	Sulak alanlar
9	Kalıcı kar ve buz	Kullanılmadı
	Su	

2.4 MODIS MOD10A1 Ürünün Sentinel 2 Referans EKKA Verisiyle Karşılaştırılması

MOD10A1 ürününün 2017-2018 Türkiye kar sezonu için Sentinel 2 verisiyle doğrulanması amacıyla Kasım 2017-Nisan 2018 arasında görüntülenen toplam 207 Sentinel 2-MOD10A1 görüntü çifti kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan tüm MODIS MOD10A1 görüntüleri, ilgili Sentinel 2 görüntülerinin projeksiyonuyla eşleşmesi için WGS84 referanslı ortak bir UTM projeksiyonuna MODIS yeniden projeksiyonlandırma aracı (MODIS Reprojection Tool) kullanılarak yeniden projeksiyonlandırılmıştır (Dwyer and Schmidt 2006). Bulutlu, bulut gölgesi, su ve kötü kaliteli pikseller, MODIS MOD09 kalite verisinden Vermote *et al.* (2011) elde edilen mekânsal maskeler yardımıyla analizlerden çıkarılmıştır. Referans EKKA haritaları, her bir MOD10A1 pikselinin içine düşen Sentinel 2 ikili kar haritalarındaki kar etiketli piksellerin ortalaması alınarak (Şekil 2.10) ilgili MOD10A1 pikseli içindeki EKKA değeri hesaplanarak oluşturulmuştur.

Analizlerde kullanılan MODIS MOD10A1 görüntülerinin tarihleri ve çakışan Sentinel 2 görüntülerinin karoları Çizelge 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.9 Sentinel 2 ikili kar haritasından referans MODIS EKKK haritası üretilmesi

Orijinal MOD10A1 haritalarının Sentinel 2’den üretilen referans EKKK haritalarıyla karşılaştırılmasında hataların kareleri ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error- RMSE) (Eşitlik 2.6) ile Pearson korelasyon katsayısı (Pearson’s correlation coefficient- R) (Eşitlik 2.7) performans metrikleri olarak kullanılmıştır:

$$\text{RMSE} := \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (2.6)$$

$$R := \frac{\sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})(\hat{y}_k - \bar{\hat{y}})/(N-1)}{\sqrt{s(y)^2 s(\hat{y})^2}} \quad (2.7)$$

Denklem 3 ve 4’de; N gözlem sayısını, y_k gözlemlenen EKKK değerini, \hat{y}_k referans EKKK değerini, \bar{y} : gözlemlenen EKKK değerlerinin ortalamasını, $\bar{\hat{y}}$ referans EKKK değerlerinin ortalamasını, $s(y)$ gözlemlenen EKKK değerlerinin standart sapmasını, $s(\hat{y})$ ise referans EKKK değerlerinin standart sapmasını göstermektedir.

Çizelge 2.11 2017-2018 Türkiye kar sezonu için MOD10A1-Sentinel 2 görüntü çiftleri

Karo No	Karo Sayısı	Günler
T35TPE	7	5 Nisan 2018, 10 Nisan 2018, 25 Nisan 2018,11 Mart 2018, 20 Ocak 2018, 30 Ocak 2018, 15 Ocak 2018.
T36SUG	7	22 Nisan 2018, 17 Nisan 2018, 12 Nisan 2018, 6 Şubat 2018, 1 Şubat 2018, 17 Ocak 2018, 8 Ocak 2018.
T36SVF	14	24 Nisan 2018, 22 Nisan 2018, 17 Nisan 2018, 7 Nisan 2018, 13 Mart 2018, 8 Mart 2018,6 Şubat 2018, 1 Şubat 2018, 20 Ocak 2018, 7 Ocak 2018,15 Aralık 2017, 13 Aralık 2017, 8 Aralık 2017, 30 Kasım 2017, 8 Kasım 2017.
T36SYH	8	6 Nisan 2018, 27 Mart 2018, 17 Mart 2018, 23 Şubat 2018, 5 Şubat 2018, 12 Aralık 2017, 10 Aralık 2017, 2 Aralık 2017.
T36TTL	3	25 Nisan 2018, 30 Ocak 2018, 11 Aralık 2017.
T36TUK	8	22 Nisan 2018, 12 Nisan 2018, 7 Nisan 2018, 1 Şubat 2018, 7 Ocak 2018, 28 Aralık 2017, 13 Aralık 2017, 8 Aralık 2017.
T36TUL	7	25 Nisan 2018, 5 Nisan 2018,31 mart 2018, 16 Mart 2018, 1 Şubat 2018, 16 Aralık 2017, 11 Aralık 2017.
T36TWL	11	29 Nisan 2018, 22 Nisan 2018, 10 Mart 2018, 7 Ocak 2018, 1 Ocak 2018, 25 Aralık 2017, 13 Aralık 2017, 10 Aralık 2017, 8 Aralık 2017.
T36TXL	5	29 Nisan 2018, 14 Nisan 2018, 4 Nisan 2018, 25 Aralık 2017, 10 Aralık 2017
T37SBC	5	6 Nisan 2018, 17 Mart 2018, 5 Şubat 2018, 2 Aralık 2017, 12 Aralık 2017
T37SCC	4	6 Nisan 2018, 17 Mart 2018, 16 Ocak 2018, 12 Aralık 2018
T37SED	11	23 Nisan 2018, 13 Nisan 2018, 19 Mart 2018, 7 Şubat 2018, 2 Şubat 2018, 28 Ocak 2018, 08 Ocak 2018, 29 Aralık 2017, 9 Aralık 2017, 14 Kasım 2017, 4 Kasım 2017.
T37SFD	17	23 Nisan 2018, 13 Nisan 2018, 8 Nisan 2018, 19 Mart 2018, 11 Mart 2018, 24 Şubat 2018, 7 Şubat 2018, 28 Ocak 2018, 15 Ocak 2018, 8 Ocak 2018, 29 Aralık 2017, 26 Aralık 2017, 21 Aralık 2017, 16 Aralık 2017, 9 Aralık 2017, 16 Kasım 2017, 14 Kasım 2017.
T37TDE	4	6 Nisan 2018, 12 Mart 2018, 12 Aralık 2017, 2 Aralık 2017
T37TEE	9	23 Nisan 2018, 8 Nisan 2018, 12 Mart 2018, 22 Şubat 2018, 7 Şubat 2018, 8 Ocak 2018, 29 Aralık 2017, 9 Aralık 2017, 7 Kasım 2017, 2 Kasım 2017.
T37TFE	12	23 Nisan 2018, 8 Nisan 2018, 5 Nisan 2018, 19 Mart 2018, 24 Şubat 2018, 7 Şubat 2018, 8 Ocak 2018, 29 Aralık 2017, 26 Aralık 2017, 9 Aralık 2017, 1 Aralık 2017, 16 Kasım 2017.
T37TFF	6	8 Nisan 2018, 22 Şubat 2018, 2 Şubat 2018, 8 Ocak 2018, 29 Aralık 2017, 9 Aralık
T37TGE	6	25 Nisan 2018, 5 Nisan 2018, 24 Şubat 2018, 26 Aralık 2017, 21 Aralık 2017, 1 Aralık 2017

Çizelge 2.11 2017-2018 Türkiye kar sezonu için MOD10A1-Sentinel 2 görüntü çiftleri(devam)

Karo No	Karo Sayısı	Günler
T38SKH	9	30 Nisan 2018, 15 Nisan 2018, 26 Mart 2018, 14 Şubat 2018, 19 Şubat 2018, 30 Ocak 2018, 26 Aralık 2017, 16 Aralık 2017, 11 Aralık 2017
T38SLG	7	23 Nisan 2018, 8 Nisan 2018, 12 Mart 2018, 22 Şubat 2018, 7 Şubat 2018, 8 Ocak 2018, 29 Aralık 2017, 9 Aralık, 7 Kasım 2017, 2 Kasım 2017.
T38SLH	17	25 Nisan 2018, 17 Nisan 2018, 15 Nisan 2018, 7 Nisan 2018, 05 Nisan 2018, 2 Nisan 2018, 26 Mart 2018, 11 Mart 2018, 7 Ocak 2018, 31 Aralık 2017, 26 Aralık 2017, 16 Aralık 2017, 13 Aralık 2017, 11 Aralık 2017, 18 Kasım 2017, 16 Kasım 2017, 13 Aralık 2017.
T38SMJ	8	17 Nisan 2018, 7 Nisan 2018, 2 Nisan 2018, 16 Şubat 2018, 6 Şubat 2018, 12 Ocak 2018, 7 Ocak 2018, 13 Aralık 2017.
T38TKK	6	25 Nisan 2018, 5 Nisan 2018, 24 Şubat 2018, 6 Şubat 2018, 21 Aralık 2017, 6 Aralık 2017, 1 Aralık 2017.
T38TLL	5	25 Nisan 2018, 10 Nisan 2018, 5 Nisan 2018, 24 Şubat 2018, 1 Aralık 2017.
T38SLJ	7	25 Nisan 2018, 15 Nisan 2018, 5 Nisan 2018, 11 Mart 2018, 24 Şubat 2018, 30 Ocak 2018, 26 Aralık 2017.

3. BULGULAR

3.1 Sentinel 2 İkili Kar Haritalarının Doğrulanması

Üç farklı ikili kar haritalama algoritması kullanılarak elde edilen Sentinel 2 ikili kar haritalarının yer istasyon verilerinden elde edilen KD ölçümleriyle karşılaştırılması sonucunda Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3’de verilen ikili hata matrisleri elde edilmekte olup, bu hata matrisleri kullanılarak hesaplanan ikili performans metrikleri de Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Algoritma 1 için uydu görüntüleri ve yer istasyon verilerinden elde edilen hata matrisi.

Algoritma 1		Yer İstasyon Verisi		
		Kar	Kar Değil	
Uydu Görüntüsü	Kar	209	15	224
	Kar Değil	35	27	62
		244	42	286

Çizelge 3.2 Uydu görüntüleri ve yer istasyon verilerinden elde edilen hata matrisi (Algoritma 2)

Algoritma 2		Yer İstasyon Verisi		
		Kar	Kar Değil	
Uydu Görüntüsü	Kar	212	17	229
	Kar Değil	32	25	57
		244	42	286

Çizelge 3.3 Uydu görüntüleri ve yer istasyon verilerinden elde edilen hata matrisi (Algoritma3)

Algoritma 3		Yer İstasyon Verisi		
		Kar	Kar Değil	
Uydu Görüntüsü	Kar	201	17	218
	Kar Değil	43	25	68
		244	42	286

Çizelge 3.4’de verilen ikili performans metrikleri incelendiğinde; Bölüm 2.1’de bahsedilen üç farklı algoritma uygulanarak üretilen Sentinel 2 ikili kar haritaları için Algoritma 1’de; $POD = 0.8566$ ve $ACC = 0.8252$, Algoritma 2’de; $POD = 0.8689$ ve $ACC = 0.8287$ ile Algoritma 3’de $POD = 0.8238$ ve $ACC = 0.7972$ değerleri hesaplanmıştır. Bu metriklerin sonuçları Algoritma 2’nin performansının diğer 2 algoritmaya göre yer ölçümlerinden elde edilen KD ölçümleri ile daha iyi uyum içinde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla MODIS görüntülerinin doğrulama çalışmalarında kullanılmak üzere elde edilecek referans ikili kar haritaları Algoritma 2 kullanılarak üretilmiştir. Kullanılan üç algortmada da FAR ve POFD değerleri sırasıyla 0.06-0.08 ile 0.35-0.40 aralığında olup Sentinel 2’den üretilen ikili kar haritalarında düşükte olsa sınıflandırma hatası olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen ikili kar haritaları görsel olarak incelendiğinde, bu hatanın ya *i*) yer istasyonunun kar göstermediği durumda gerçekte bulut olan pikselin algoritma tarafından hatalı olarak kar şeklinde sınıflandırılmasından ya da *ii*) yer istasyonunun kar gösterdiği durumda bulut olan pikselin algoritma tarafından doğru olarak kar değil şeklinde sınıflandırılmasından kaynaklandığı görülmüştür.

Çizelge 3.4 Sentinel 2 ikili kar haritaları için hesaplanan performans metrikleri

	Algoritma 1	Algoritma 2	Algoritma 3
POD	0.8566	0.8689	0.8238
FAR	0.0670	0.0742	0.078
POFD	0.3571	0.4048	0.4048
ACC	0.8252	0.8287	0.7902
CSI	0.8069	0.8123	0.7701
HSS	0.4172	0.4043	0.3335

3.2 MODIS MOD10A1 Ürününün Sentinel 2 Tabanlı Referans EKKA Haritaları ile Doğrulanması

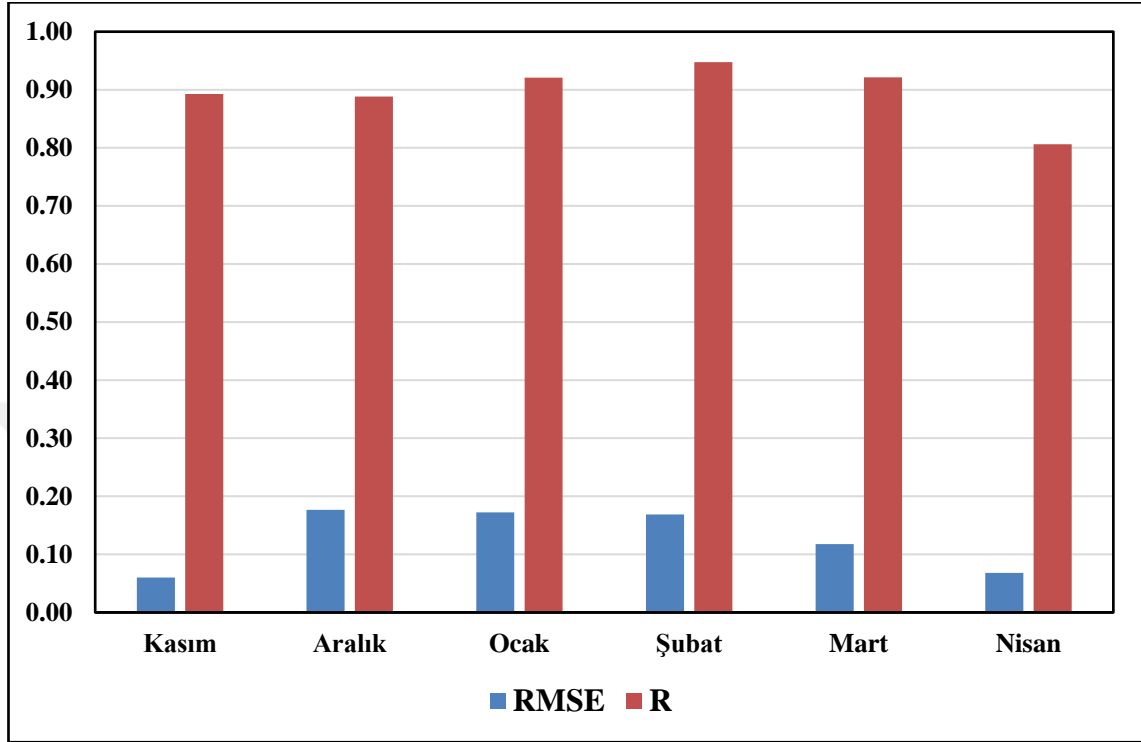
Algoritma 2 kullanılarak üretilen ikili kar haritalarının daha yüksek doğruluğa sahip olmasından dolayı MOD10A1 ürününün değerlendirilmesinde ikinci algoritma kullanılarak üretilen referans EKKA haritaları kullanılmıştır. Algoritma 2 kullanılarak üretilen referans EKKA haritalarıyla MOD10A1 ürününün karşılaştırılmasına genel olarak bakıldığında $RMSE = 0.1307$ ve $R = 0.8810$ değerlerini almaktadır (Çizelge 3.6). Düşük $RMSE$ ve yüksek R değerleri MOD10A1 ürününün genel olarak bakıldığında Sentinel 2'den üretilen referans EKKA haritalarıyla yüksek uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.5 MODIS MOD10A1 ürünü için genel doğrulama sonuçları (Algoritma 2)

	RMSE	R
Algoritma 2	0.1307	0.8810

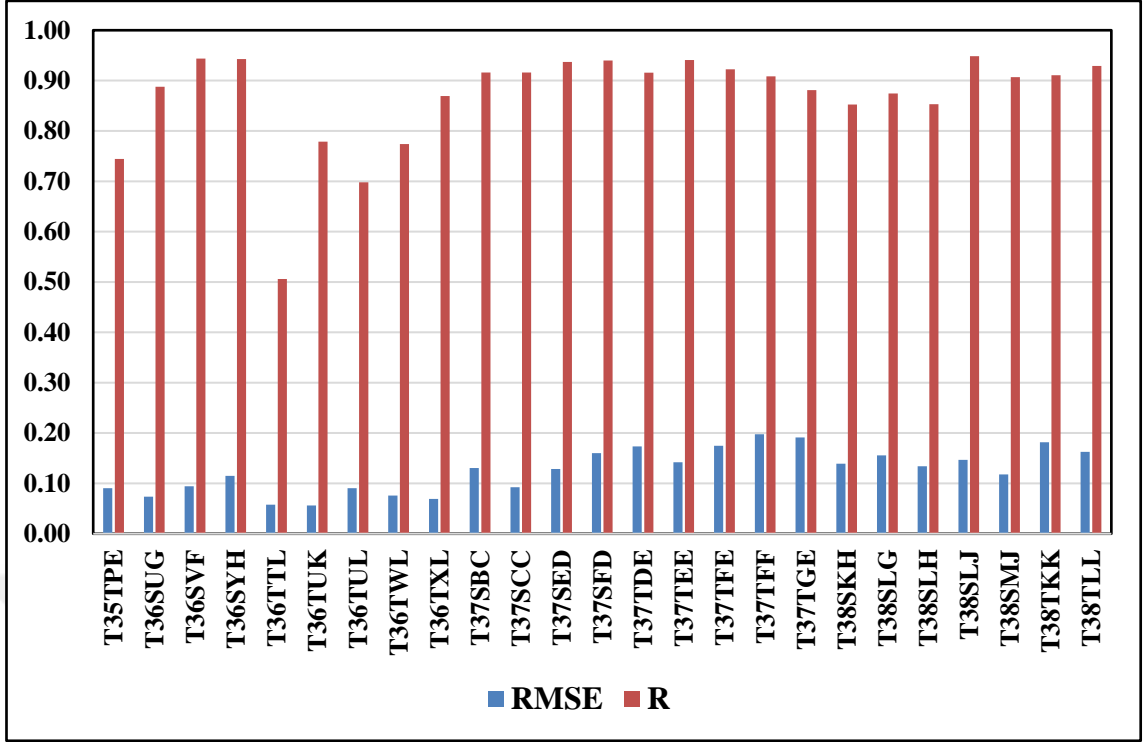
Bununla birlikte ay bazında $RMSE$ ve R değerlerine bakıldığında (Şekil 3.2) karın ilk yağdığı aylarda R değerinin gayet yüksek olduğu görülmekteyken, karın erimeye başladığı Nisan ayında ise düşüşe geçtiği görülmektedir. Bu beklenen bir durum olup, karın erimeye başladığı dönemde kar örtüsü yamalı (patchy snow cover) bir görüntü aldığından MODIS EKKA ürününün doğruluğu düşüş göstermekte olup, Nisan ayındaki

bu düşüş korelasyon katsayısı $R = 0.80$ değerinin altına düşmediğinden doğruluk değeri yüksek olarak kabul edilmektedir.



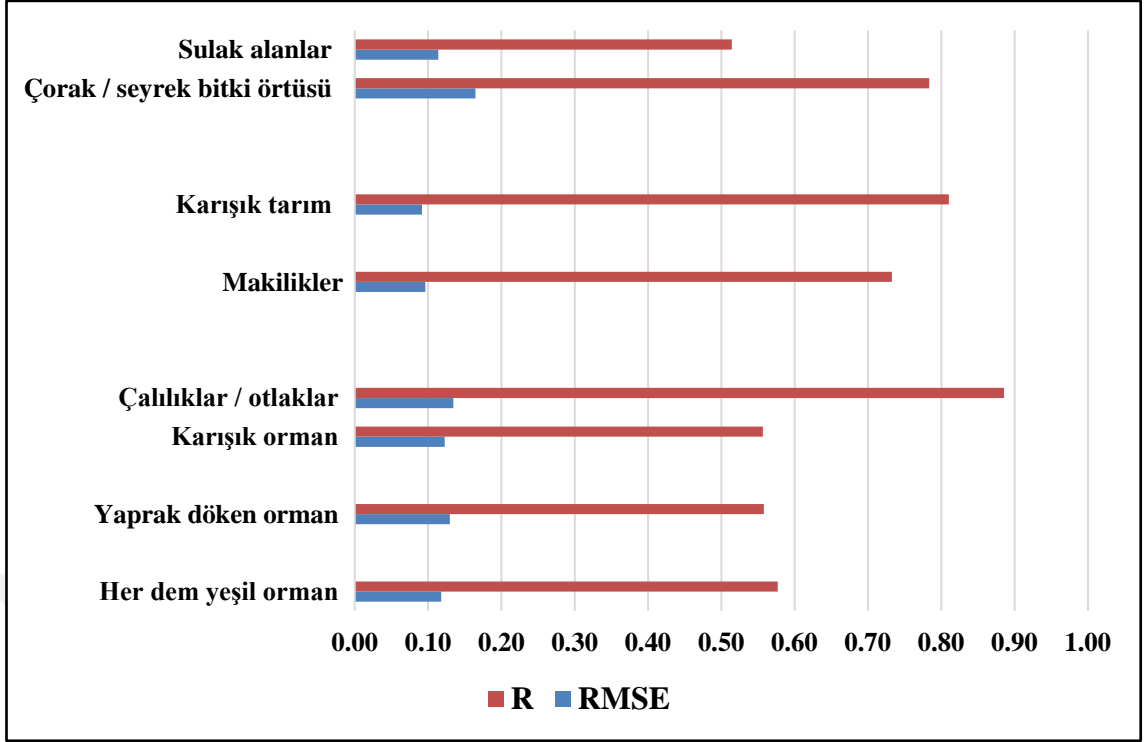
Şekil 3.1 Ay bazlı RMSE ve R değerleri

Karo bazlı RMSE ve R bulgularına bakıldığında ortalama RMSE hata değeri en yüksek 0.2367'ye R değerinin ise 0.9384'e ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.1). T36TTL, T36TUK, T36TUL, T36TWL ve T35TPE karolarında R değeri; 0.80'in altına düşmekte iken, T36SUG, T36TXL, T37TGE, T38SKH, T38SLG ve T38SLH karolarında 0.80 ile 0.90 arasında değişmektedir. Geriye kalan 14 adet karo da ise R değeri 0.90'ın üzerindedir.



Şekil 3.2 Karo bazlı RMSE ve R değerleri

Algoritma 2 ‘den üretilen referans EKKA haritalarıyla karşılaştırılan MOD10A1 ürününün arazi sınıflarına göre RMSE ve R değerleri Şekil 3.3’de verilmiştir. Genel olarak ortalama RMSE değerleri 0.0917–0.1645 arasında değişmektedir R değerlerine bakıldığında MODIS MOD10A1 ürününün arazi sınıfları bazında en düşük performans gösterdiği yerler; herdem yeşil ormanlar, karışık ormanlar, yaprak döken ormanlar ve sulaklar alanlar olurken, en yüksek doğruluğu ise R değerinin 0.80’in üstünde olduğu çalılıklar/otlaklar arazi tiplerinde göstermektedir.

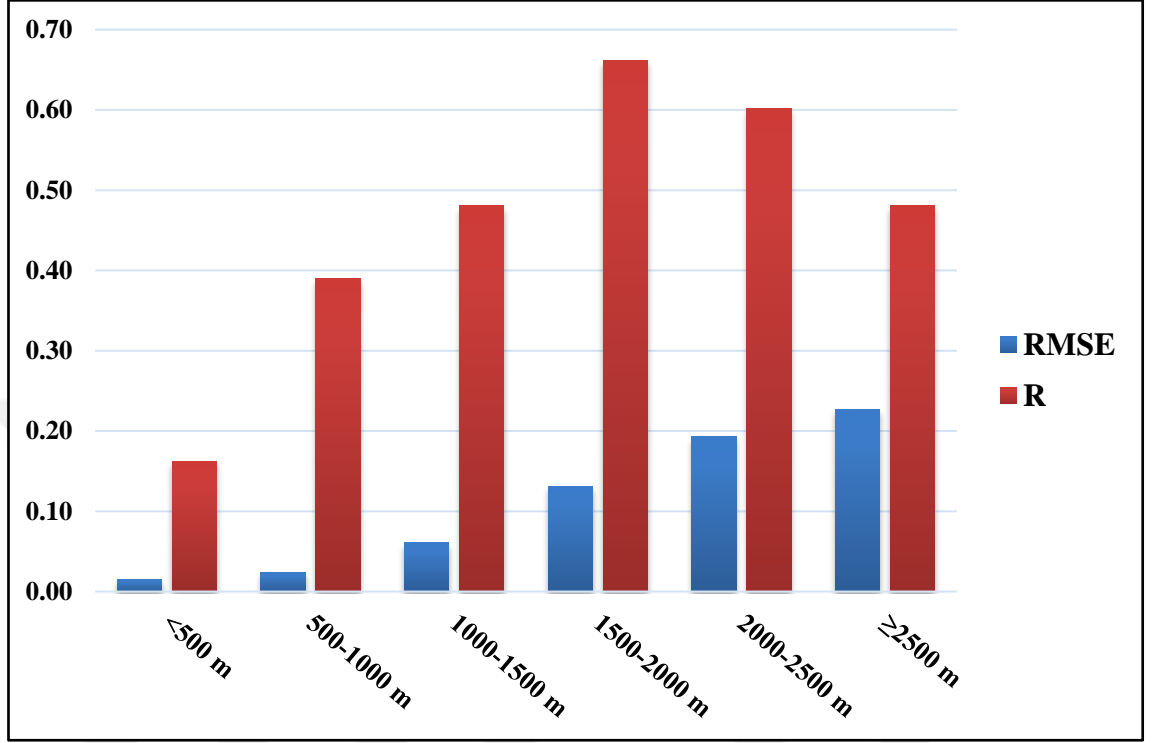


Şekil 3.3 Arazi sınıfları verilerine göre RMSE ve *R* değerleri

Algoritma 2'den üretilen referans EKKK haritalarıyla karşılaştırılan MOD10A1 ürününün DEM verilerine göre tüm Sentinel 2 karolarından elde edilen ortalama RMSE ve *R* değerleri Şekil 3.4'de verilmiştir. Genel olarak bakıldığında DEM verileri için RMSE değerleri 0.0154-0.2273 arasında yer almaktadır. *R* değerlerine bakıldığında MODIS MOD10A1 ürününün DEM bazında en düşük performansı 500 m'den küçük yüksekliklerde gösterirken, en yüksek doğruluğu ise 1500-2000 m yüksekliklerde göstermektedir.

T35TPE, T36TTL, T36TUK, T36TUL ve T37TFF karoları için Aralık 2017 ve Ocak 2018 aylarında DEM sınıfı 500 m ve altında olan yükseklik sınıfında *R* değerleri 0.40 ile 0.87 aralığında seyrettiği ve bu karoların genel olarak makilik, çalılık/otlak ve karışık tarım alanlarda olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısı ile karın yeni yağdığı açıklık alanlarda MOD10A1 ürününün doğruluğu yüksek olmaktadır. Ancak, bu DEM sınıfına denk gelen ve herdem yeşil, yaprak döken ve karışık orman sınıflarına sahip karolar (T36TLL, T36TXL, T36TUL) ile karın erime dönemine denk gelen makilik, çalılık/otlak ve karışık tarım alanlarındaki karolar da *R* değerleri 0.0124 ile -0.0005 aralığında

seyretmekte olup MOD10A1 ürününün performansını bu DEM aralığı içinde düşürmektedir.



Şekil 3.4 DEM sınıfları bazında RMSE ve R değerleri

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Karın mekânsal ve zamansal dağılımının yüksek doğrulukla belirlenmesi, hidrolojik, iklimsel ve diğer bağlantılı çevresel süreçlerin ve bunların değişimlerinin kapsamlı bir şekilde modellenmesi ve anlaşılması için kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, UA yoluyla elde edilen verilerden üretilen kar ürünlerinin ve bunların üretilmesinde kullanılan algoritmaların daha güvenilir ve yüksek doğruluğa sahip hâle getirilmesi için sürekli olarak doğrulama çalışmalarının yapılması bir zorunluluktur.

Bu tezin temel amacı, MODIS EKKA ürünü olan MOD10A1'in Türkiye üzerindeki sürekli doğrulama çalışmalarında kullanılmak üzere Sentinel 2 görüntülerinin uygunluğunun tespit edilerek, 2017-2018 kar sezonu için MOD10A1 ürününün Sentinel 2 tabanlı referans EKKA verisiyle doğrulamasının yapılmasıdır. Günlük olarak küresel ölçekte üretilen bir ürün olan MODIS MOD10A1, hidrolojik ve iklimsel çalışmalar bakımından yüksek zamansal çözünürlüğe ve doğruluğa sahip veri temini açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada ise MODIS MOD10A1 kar ürününün 2017-2018 Türkiye kar sezonu özelinde Sentinel 2 verisinden üretilen referans kar haritaları kullanılarak yapılan doğrulama sonuçları sunulmuştur.

Tezin ilk aşamasında Sentinel 2 görüntülerinden 3 farklı algoritmayla elde edilen ikili kar haritaları yer istasyon verilerinden elde edilen KD ölçümleriyle doğrulanmıştır. Bunun sonucunda 3 algortima da yüksek POD ve düşük FAR değerleri ile iyi sonuçlar vermekte olup, Algoritma 2'den elde edilen performans metrikleri diğer iki algoritmaya göre daha iyi sonuç vermektedir. Bu nedenle MODIS EKKA ürünü MOD10A1 in doğrulaması için kullanılacak referans EKKA haritalarının üretilmesinde Algoritma 2 kullanılarak üretilen ikili Sentinel 2 kar haritaları kullanılmıştır. Yer istasyon verileriyle uyum içinde olan Sentinel 2 görüntülerinden elde edilen referasn EKKA haritalarıyla 207 adet karoda MODIS MOD10A1 ürününün 2017-2018 kar sezonunda doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada MOD10A1 ürününün genel; ay bazında, karo bazında, arazi ve yükseklik sınıflarına göre performansının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Sentinel 2 verilerinin orta/düşük çözünürlükteki uydu kar ürünlerinin ve kar algılama algoritmalarının geliştirilmesi yönelik olarak yürütülen sürekli doğrulama çalışmaları için uygun bir referans veri kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Doğrulama sonuçları, analizi yapılan yüksek zamansal çözünürlüğe sahip MODIS MOD10A1 kar ürününün Sentinel 2 bazlı referans veriyle karşılaştırıldığında oldukça yüksek doğruluğa sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Bununla birlikte, ileride daha fazla kilit konuların ele alınması gerekmektedir. Öncelikle, farklı referans kar ürünleri üretilmesinde kullanılan algoritmalarla yapılacak karşılaştırmalı bir çalışma, Sentinel 2 görüntülerinden elde edilen kar haritalarının güvenilirliğini değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca bulutluluk oranının üretilen referans kar haritalarının doğruluğu üzerindeki etkisi farklı bulutluluk oranlarına sahip görüntülerin analizi yoluyla daha ayrıntılı şekilde araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aalstad, K., Westermann, S., Schuler, T. V., Boike, J., Bertino, L. (2018). Ensemble-based assimilation of fractional snow covered area satellite retrievals to estimate snow distribution at a high Arctic site.
- Akyürek, Z., Şorman, A., Şensoy, A., Şorman, A. (2007) Calibration and Validation of satellite derived snow products with in situ data over the mountainous Eastern part of Turkey. International Congress on River Basin Management, pp. 711-726.
- Appel, I. (2018). Uncertainty in satellite remote sensing of snow fraction for water resources management. *Frontiers of Earth Science*, 12 (4); 711-727.
- Arsenault, K. R., Houser, P. R., De Lannoy, G. J. (2014). Evaluation of the MODIS snow cover fraction product. *Hydrological Processes*, 28 (3); 980-998.
- 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 (7066); 303.
- Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S. (2008). Climate change and water. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.
- Bormann, K. J., Westra, S., Evans, J. P., McCabe, M. F. (2013). Spatial and temporal variability in seasonal snow density. *Journal of Hydrology*, 484; 63-73.
- 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); 1-14.
- Byun, K., Choi, M. (2014). Uncertainty of snow water equivalent retrieved from AMSR-E brightness temperature in northeast Asia. *Hydrological Processes*, 28 (7); 3173-3184.
- 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. *Advances in water resources*, 29 (8); 1209-1221.
- Crawford, C. J. (2015). MODIS Terra Collection 6 fractional snow cover validation in mountainous terrain during spring snowmelt using Landsat TM and ETM+. *Hydrological Processes*, 29 (1); 128-138.
- Derksen, C. (2008). The contribution of AMSR-E 18.7 and 10.7 GHz measurements to improved boreal forest snow water equivalent retrievals. *Remote Sensing of Environment*, 112 (5); 2701-2710.
- Dietz, A. J., Kuenzer, C., Gessner, U., Dech, S. (2012). Remote sensing of snow – a review of available methods. *International Journal of Remote Sensing*, 33 (13); 4094-4134. doi: 10.1080/01431161.2011.640964.
- Dong, J., Peters-Lidard, C. (2010). On the relationship between temperature and MODIS snow cover retrieval errors in the Western US. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3 (1); 132-140.
- Doswell III, C. A., Davies-Jones, R., Keller, D. L. (1990). On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables. *Weather and Forecasting*, 5 (4); 576-585.
- Dozier, J. (1992). Opportunities to improve hydrologic data. *Reviews of Geophysics*, 30 (4); 315-331.

- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120; 25-36.
- Dwyer, J., Schmidt, G. (2006). The MODIS reprojection tool. *Earth science satellite remote sensing*. Springer, pp. 162-177.
- Fayad, A., Gascoin, S., Faour, G., López-Moreno, J. I., Drapeau, L., Le Page, M., Escadafal, R. (2017). Snow hydrology in Mediterranean mountain regions: A review. *Journal of Hydrology*, 551; 374-396.
- Foster, J., Liston, G., Koster, R., Essery, R., Behr, H., Dumenil, L., Verseghy, D., Thompson, S., Pollard, D., Cohen, J. (1996). Snow cover and snow mass intercomparisons of general circulation models and remotely sensed datasets. *Journal of Climate*, 9 (2); 409-426.
- 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. *Advances in Space Research*, 50 (8); 1007-1029.
- Gascoin, S., Hagolle, O., Huc, M., Jarlan, L., Dejoux, J.-F., Szczypta, C., Marti, R., Sánchez, R. (2015). A snow cover climatology for the Pyrenees from MODIS snow products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (5); 2337-2351.
- Gascoin, S., Lhermitte, S., Kinnard, C., Bortels, K., Liston, G. E. (2013). Wind effects on snow cover in Pascua-Lama, Dry Andes of Chile. *Advances in water resources*, 55; 25-39.
- 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 (2); 129-137.
- Hall, D. K., Martinec, J. (1985). *Remote Sensing of Ice and Snow*. Chapman and Hall, NY, USA.
- Hall, D. K., Riggs, G. A. (2007). Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrological Processes*, 21 (12); 1534-1547.
- 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 (2); 127-140.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V. (2006). MODIS Snow and Sea Ice Products. In: Qu JJ, Gao W, Kafatos M, Murphy RE, Salomonson VV (eds) *Earth Science Satellite Remote Sensing Volume 1: Science and Instruments*. Springer, Beijing, pp. 154-181.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E., Bayr, K. J. (2002). MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1-2); 181-194.
- Harpold, A., Guo, Q., Molotch, N., Brooks, P., Bales, R., Fernandez-Diaz, J., Musselman, K., Swetnam, T., Kirchner, P., Meadows, M. (2014). LiDAR-derived snowpack data sets from mixed conifer forests across the Western United States. *Water Resources Research*, 50 (3); 2749-2755.
- 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.
- Huang, X., Liang, T., Zhang, X., Guo, Z. (2011). Validation of MODIS snow cover products using Landsat and ground measurements during the 2001–2005 snow

- seasons over northern Xinjiang, China. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (1); 133-152.
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.018>.
- Klein, A. G., Barnett, A. C. (2003). Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000–2001 snow year. *Remote Sensing of Environment*, 86 (2); 162-176.
- Klein, A. G., Hall, D. K., Riggs, G. A. (1998). Improving snow cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model. *Hydrological Processes*, 12 (10-11); 1723-1744.
- Kumar, S. V., Peters-Lidard, C. D., Arsenault, K. R., Getirana, A., Mocko, D., Liu, Y. (2015). Quantifying the added value of snow cover area observations in passive microwave snow depth data assimilation. *Journal of Hydrometeorology*, 16 (4); 1736-1741.
- Kuter, S., Akyurek, Z. (2018) Accuracy Assessment of EUMETSAT-HSAF Fractional Snow Cover Product H12 for 2017-2018 Snow Season in Turkey by using Sentinel-2 MSI Data (Poster Presentation). Workshop: Towards a better harmonization of snow observations, modeling and data assimilation in Europe (COST Action ES1404 Harmosnow), Budapest, Hungary.
- López-Moreno, J. I., Fassnacht, S., Heath, J., Musselman, K., Revuelto, J., Latron, J., Morán-Tejeda, E., Jonas, T. (2013). Small scale spatial variability of snow density and depth over complex alpine terrain: Implications for estimating snow water equivalent. *Advances in water resources*, 55; 40-52.
- López-Moreno, J. I., Nogués-Bravo, D. (2005). A generalized additive model for the spatial distribution of snowpack in the Spanish Pyrenees. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19 (16); 3167-3176.
- Luce, C. H., Lopez-Burgos, V., Holden, Z. (2014). Sensitivity of snowpack storage to precipitation and temperature using spatial and temporal analog models. *Water Resources Research*, 50 (12); 9447-9462.
- Malenovský, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, M. E., García-Santos, G., Fernandes, R., Berger, M. (2012). Sentinels for science: Potential of Sentinel-1,-2, and-3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sensing of Environment*, 120; 91-101.
- Maurer, E. P., Rhoads, J. D., Dubayah, R. O., Lettenmaier, D. P. (2003). Evaluation of the snow-covered area data product from MODIS. *Hydrological Processes*, 17 (1); 59-71.
- Metsämäki, S., Ripper, E., Mattila, O.-P., Fernandes, R., Bippus, G., Luojus, K., Nagler, T., Bojkov, B. (2016) Evaluation of Northern Hemisphere Snow Extent products within ESA SnowPEX-project. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International*. IEEE, pp. 5280-5283.
- Molotch, N. P., Meromy, L. (2014). Physiographic and climatic controls on snow cover persistence in the Sierra Nevada Mountains. *Hydrological Processes*, 28 (16); 4573-4586.
- Munkhjargal, M., Groos, S., Pan, C. G., Yadamsuren, G., Yamkin, J., Menzel, L. (2019). Multi-source based spatio-temporal distribution of snow in a semi-arid headwater catchment of northern Mongolia. *Geosciences*, 9 (1); 53.

- Nolin, A. W. (2004). Towards retrieval of forest cover density over snow from the Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR). *Hydrological Processes*, 18 (18); 3623-3636.
- Nolin, A. W. (2010). Recent advances in remote sensing of seasonal snow. *Journal of Glaciology*, 56 (200); 1141-1150.
- Painter, T. H., Dozier, J., Roberts, D. A., Davis, R. E., Green, R. O. (2003). Retrieval of subpixel snow-covered area and grain size from imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 85 (1); 64-77.
- Parajka, J., Blöschl, G. (2008). Spatio-temporal combination of MODIS images—potential for snow cover mapping. *Water Resources Research*, 44 (3).
- Pirazzini, R., Leppänen, L., Picard, G., Lopez-Moreno, J., Marty, C., Macelloni, G., Kontu, A., von Lerber, A., Tanis, C., Schneebeli, M. (2018). European in-situ snow measurements: Practices and purposes. *Sensors*, 18 (7); 2016.
- Poon, S. K., Valeo, C. (2006). Investigation of the MODIS snow mapping algorithm during snowmelt in the northern boreal forest of Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32 (3); 254-267.
- Qu, J. J., Gao, W., Kafatos, M., Murphy, R. E., Salomonson, V. V. (2006). *Earth Science Satellite Remote Sensing: Vol. 1: Science and Instruments*. Springer.
- Raleigh, M. S., Livneh, B., Lapo, K., Lundquist, J. D. (2016). How does availability of meteorological forcing data impact physically based snowpack simulations? *Journal of Hydrometeorology*, 17 (1); 99-120.
- Raleigh, M. S., Rittger, K., Moore, C. E., Henn, B., Lutz, J. A., Lundquist, J. D. (2013). Ground-based testing of MODIS fractional snow cover in subalpine meadows and forests of the Sierra Nevada. *Remote Sensing of Environment*, 128; 44-57.
- Revuelto, J., López-Moreno, J. I., Azorín-Molina, C., Vicente-Serrano, S. M. (2014). Topographic control of snowpack distribution in a small catchment in the central Spanish Pyrenees: intra-and inter-annual persistence. *The Cryosphere*, 8 (5); 1989-2006.
- Rice, R., Bales, R. C., Painter, T. H., Dozier, J. (2011). Snow water equivalent along elevation gradients in the Merced and Tuolumne River basins of the Sierra Nevada. *Water Resources Research*, 47 (8).
- Riggs, G. A., Hall, D., Salomonson, V. (2006). MODIS snow products user guide. NASA Goddard Space Flight Center Rep.
- Riggs, G. A., Hall, D. K. (2015). MODIS snow products collection 6 user guide. National Snow Ice Data Center.
- Riggs, G. A., Hall, D. K., Román, M. O. (2015). MODIS snow products collection 6 user guide. National Snow & Ice Data Center.
- Riggs, G. A., Hall, D. K., Román, M. O. (2016). MODIS Snow Products Collection 6 User Guide.
- Robinson, D. A., Kukla, G. (1985). Maximum surface albedo of seasonally snow-covered lands in the Northern Hemisphere. *Journal of Climate Applied Meteorology*, 24 (5); 402-411.
- Rodell, M., Houser, P. (2004). Updating a land surface model with MODIS-derived snow cover. *Journal of Hydrometeorology*, 5 (6); 1064-1075.
- Romanov, P., Tarpley, D., Gutman, G., Carroll, T. (2003). Mapping and monitoring of the snow cover fraction over North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108 (D16).

- Salomonson, V. V., Appel, I. (2004a). Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of Environment*, 89 (3); 351-360.
- Salomonson, V. V., Appel, I. (2004b). Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of Environment*, 89; 351-360.
- Salomonson, V. V., Appel, I. (2006). Development of the Aqua MODIS NDSI Fractional Snow Cover Algorithm and Validation Results. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44; 1747-1756.
- Salomonson, V. V., Barnes, W., Maymon, P. W., Montgomery, H. E., Ostrow, H. (1989). MODIS: Advanced facility instrument for studies of the Earth as a system. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 27 (2); 145-153.
- Shamir, E., Georgakakos, K. P. (2006). Distributed snow accumulation and ablation modeling in the American River basin. *Advances in water resources*, 29 (4); 558-570.
- Sönmez, İ., Tekeli, A. E., Erdi, E. (2014). Snow cover trend analysis using interactive multisensor snow and ice mapping system data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 34 (7); 2349-2361.
- Sulla-Menashe, D., Friedl, M. A. (2018). User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) Product. USGS: Reston, VA, USA.
- Sürer, S., Akyürek, Z. (2012). Evaluating the utility of the EUMETSAT HSAF snow recognition product over mountainous areas of eastern Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 57 (8); 1684-1694.
- Sürer, S., Parajka, J., Akyürek, Z. (2014). Validation of the operational MSG-SEVIRI snow cover product over Austria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18 (2); 763-774.
- Szczypta, C., Gascoin, S., Houet, T., Hagolle, O., Dejoux, J.-F., Vigneau, C., Fanise, P. (2015). Impact of climate and land cover changes on snow cover in a small Pyrenean catchment. *Journal of Hydrology*, 521; 84-99.
- Tekeli, A. E., Akyürek, Z., Şorman, A. A., Şensoy, A., Şorman, A. Ü. (2005). Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97 (2); 216-230.
- 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 Sensing*, 5 (11); 5825-5850.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8 (2); 127-150.
- URL1. Web adresi: <https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/73000/73884/world.topo.bathy.200411.3x5400x2700.jpg>, Erişim tarihi: 10.01.2018.
- URL2. Web adresi: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook, Erişim tarihi: 10.01.2018.
- URL3 Web adresi: <http://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.5.5/docs/S2-PDGS-MPC-L2A-SRN-V2.5.5.pdf>, Erişim tarihi: 10.01.2018.
- URL4 Web adresi: <https://visibleearth.nasa.gov/images/94791/snow-in-turkey>, Erişim tarihi: 10.01.2018.
- URL5 Web adresi: https://support.hdfgroup.org/release4/doc/UG_PDF.pdf, Erişim tarihi: 10.01.2018.

- URL6 Web adresi: <http://edhs1.gsfc.nasa.gov/waisdata/sdp/pdf/tp17050001.pdf>, Erişim tarihi: 10.01.2018.
- Verbeiren, S., Eerens, H., Piccard, I., Bauwens, I., Van Orshoven, J. (2008). Sub-pixel classification of SPOT-VEGETATION time series for the assessment of regional crop areas in Belgium. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10 (4); 486-497.
- Vermote, E., Kotchenova, S., Ray, J. (2011). MODIS surface reflectance user's guide. MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility, Version, 1.
- Viviroli, D., Archer, D. R., Buytaert, W., Fowler, H. J., Greenwood, G., Hamlet, A. F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, I., López-Moreno, J. I. (2011). Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology Earth System Sciences*, 15 (2); 471-504.
- Wang, X., Xie, H., Liang, T. (2008). Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in Northern Xinjiang, China. *Remote Sensing of Environment*, 112 (4); 1497-1513.
- 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. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23 (3); 419-429.
- Wolfe, R. (2013). MODIS Land Digital Elevation Model and Land/Water Mask in the Sinusoidal Grid Version 6.0.

EKLER

EK 1 Sentinel 2 İkili kar Haritalarının Yer İstasyon Verisiyle Karşılaştırılmasında Kullanılan Matlab Fonksiyonu

```
%function S2Abin_extract extract binary snow values to ground station data
%from binary Sentinel 2A snow cover maps and store the results in a CSV
%file

function y = S2Abin_extract_v02

% Author: Uğur TUTTU
%Date : April 2018

%GET THE ARCGIS SHAPE FILE IN WHICH THE LOCATIONS OF GROUND
SATATIONS ARE STORED
CurrentFolder = pwd;
[FileName1,PathName1] = uigetfile('*.*shp', 'SELECT THE GROUND STATIONS
POINT SHAPE FILE');
cd(PathName1);
S = shaperead(FileName1);

XX=[S(:).X]; % X & Y COORDINATES OF POINTS IN THE SHAPE FILE
YY=[S(:).Y];

%GET THE SENTINEL 2A BINARY SNOW IMAGES
[FileName2,PathName2] = uigetfile('*.*tif', 'SELECT S2A BINARY SNOW MAPS',
'Multiselect', 'on');
cd(PathName2);
[m,n]=size(FileName2);

%SAVE THE RESULT INTO A CSV FILE PART-I
[FileName3,PathName3] = uiputfile('*.*csv', 'SAVE THE OVERLAPPING GROUND
STATION DATA FILE AS');

%CREATE A STRUCTURE ARRAY IN WHICH THE RESULTS WILL BE STORED
xx = struct();
size_xx=0; %Set the initial value of counter for structure array
```

```

tstart=tic;

%GET THE EACH GROUND STATION'S BINARY SNOW VALUE
for i=m:n

    %Read S2A Snow Maps
    cd(PathName2);
    s1=char(FileName2(i));
    S2A=double(geotiffread(s1));
    info_S2A=geotiffinfo(s1);

    height = info_S2A.Height;
    width = info_S2A.Width;
    [rows,cols] = meshgrid(1:height,1:width);
    [S2Alat,S2Alon] = pix2latlon(info_S2A.RefMatrix, rows, cols);

    %Idub = S2A;
    %mask = S2A == (intmin('int32')+1);
    %Idub(mask) = nan;
    pixelvalues = interp2(S2Alat, S2Alon, S2A.', YY, XX, 'nearest');
    idx=find(pixelvalues>=0);
    st_id=[S(idx).ID];
    bin_snow=pixelvalues(idx);

    num_elm_bin_snow=size(bin_snow,2);

    year=FileName2{1,i}(1:4);
    month=FileName2{1,i}(5:6);
    day=FileName2{1,i}(7:8);
    tile_no=FileName2{1,i}(10:15);

    if numel(pixelvalues(pixelvalues>=0))>0
    for j=1:num_elm_bin_snow
        xx(j+size_xx).station = st_id(j);
        xx(j+size_xx).year = str2double(year);
        xx(j+size_xx).month = str2double(month);
        xx(j+size_xx).day = str2double(day);
        xx(j+size_xx).binsnow = bin_snow(j);
        xx(j+size_xx).tile = tile_no;
    end
    size_xx=size_xx+num_elm_bin_snow;
    end

end

xx([xx.binsnow]==255)=[];    %Remove rows with NoData binary snow values

```

```
table=struct2table(xx);    %Convert structure array to table
```

```
%SAVE THE RESULT INTO A CSV FILE PART-II
```

```
cd(PathName3);  
fid = fopen(FileName3,'w');  
fclose(fid);  
writetable(table, FileName3);
```

```
telapsed=toc(tstart);  
fprintf('Process time in sec. = %f\n',telapsed)
```

```
cd(CurrentFolder);
```

EK 2 Sentinel 2 uydu görüntülerinden referans ikili kar haritaları üretmek için kullanılan Matlab fonksiyonu

```
%function SENTINEL_v05 produces binary snow map for Sentinel 2 MSI  
%with both original binary snow algorithm of Hall and extended NDSI-NDVI  
%decision boundary version of the algorithm  
function y = SENTINEL_v06
```

```
%Author: Uğur TUTTU  
%Date : July 2018
```

```
%GET THE SENTINEL 2 BANDS 3, 4, 8A AND 11  
tstart=tic;
```

```
CurrentFolder = pwd;  
[FileName1,PathName1] = uigetfile('*.*tif', 'SELECT THE SENTINEL 2 BANDS 3, 4,  
8A AND 11', 'Multiselect', 'on');
```

```
%Read the SENTINEL 2A bands (BANDS 3, 8A AND 11)  
cd(PathName1);
```

```
s1=char(FileName1(1));    %BAND 3  
B3 = geotiffread(s1);
```

```
s2=char(FileName1(2));    %BAND 4
```

```

B4 = geotiffread(s2);

s3=char(FileName1(3));      %BAND 8A
B8A = geotiffread(s3);

s4=char(FileName1(4));      %BAND 11
[B11,data] = geotiffread(s4);
info=geotiffinfo(s4);

idx1=find(B3==65535);      % find indices of NoData
idx2=find(B4==65535);      % find indices of NoData
idx3=find(B8A==65535);     % find indices of NoData
idx4=find(B11==65535);     % find indices of NoData

% RESCALE SENTINEL 2A REFLECTANCE VALUES
B3 = double(B3)/10000;
B4 = double(B4)/10000;
B8A = double(B8A)/10000;
B11=double(B11)/10000;

%B3T=(10*(max(B3(:))-min(B3(:)))/100)+min(B3(:));      %BAND 3 % THRESHOLD
CALCULATION
%B8AT=(11*(max(B8A(:))-min(B8A(:)))/100)+min(B8A(:));      %BAND 8A %
THRESHOLD CALCULATION

NDSI=(B3-B11)/(B3+B11);      % CALCULATE NDSI
NDVI=(B8A-B4)/(B8A+B4);      % CALCULATE NDVI

% DEFINE NDSI-NDVI POLYGON REGION VERTICES
xv=[1;0.4000000000000000;0.3442800000000000;0.3632100000000000;0.382150000000
000;0.3213000000000000;0.2929200000000000;0.2713000000000000;0.24834000000000
00;0.2281000000000000;0.2051500000000000;0.1822000000000000;0.15522000000000
00;.1309500000000000;0.1147700000000000;0.1012900000000000;0.40000000000000
00;0.4000000000000000;1];
yv=[1;1;0.9192200000000000;0.9498900000000000;0.9767300000000000;0.8808800000
0000;0.8272200000000000;0.7812300000000000;0.7237600000000000;0.666290000000
0000;0.6030800000000000;0.5398600000000000;0.4517500000000000;0.359820000000
0000;0.2985400000000000;0.2506600000000000;0.1000000000000000;-1;-1];

% TEST NDSI-NDVI CONDITION
in=inpolygon(NDSI,NDVI,xv,yv);
in=double(in);

% VERSION 1 BINARY SNOW IMAGE FROM SENTINEL2 - BASED ON NDSI
bs_logical1=(NDSI>=0.4) & (B3>=0.1) & (B8A>0.11);

```

```

bin_snow1=double(bs_logical1);
y=bin_snow1;
y(idx1)=-9999;           %SET THE NODATA VALUE TO -9999
y(idx2)=-9999;
y(idx3)=-9999;
y(idx4)=-9999;

% VERSION 2 BINARY SNOW IMAGE FROM SENTINEL2 - BASED ON NDVI-
NDSI
bs_logical2=(in==1) & (B3>=0.1) & (B8A>0.11);
bin_snow2=double(bs_logical2);
y2=bin_snow2;
y2(idx1)=-9999;         %SET THE NODATA VALUE TO -9999
y2(idx2)=-9999;
y2(idx3)=-9999;
y2(idx4)=-9999;

% WRITE SENTINEL 2A BINARY SNOW IMAGE VERSION 1
[FileName2,PathName2] = uiputfile('* .tif', 'SAVE THE SENTINEL 2A BINARY
SNOW MAP VERSION 1 IMAGE AS');
cd(PathName2);
geotiffwrite(FileName2,y,data,'GeoKeyDirectoryTag',
info.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag);

% WRITE SENTINEL 2A BINARY SNOW IMAGE VERSION 2
[FileName3,PathName3] = uiputfile('* .tif', 'SAVE THE SENTINEL 2A BINARY
SNOW MAP VERSION 2 IMAGE AS');
cd(PathName3);
geotiffwrite(FileName3,y2,data,'GeoKeyDirectoryTag',
info.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag);

telapsed=toc(tstart);

fprintf('Process time in sec. = %f\n',telapsed)

cd(CurrentFolder);

```

EK 3 MODIS MOD10A1 Ürünün Referans Sentinel 2 Haritalarıyla Doğrulanmasında kullanılan Matlab Fonksiyonu

%function MODIS_validation_for_S2_V1 gives the statistics table to validate the MODIS
%product by using Sentinel 2 V1 & V2 binary snow maps and store the results in a CSV
%file with MODIS DEM and IGBP LAND CLASS data

function y = MODIS_validation_for_S2_LC_DEM_V1

%Author: Uğur TUTTU
%Date : December 2019

tstart=tic;

%CREATE A STRUCTURE ARRAY IN WHICH THE OVERALL RESULTS WILL BE STORED

xx = struct();

%GET THE SENTINEL-2 AND MODIS TILES

CurrentFolder = pwd;

[FileName1,PathName1] = uigetfile('*.tif', 'SELECT THE SENTINEL-2 V1 OR V2 BINARY SNOW IMAGES','Multiselect', 'on');

[m, n]=size(FileName1);

%BUILD INDEX MATRIX FOR SENTINEL-2 V1&2 BINARY SNOW IMAGES

for ii=m:n

a=FileName1{1,ii};

A(ii,1)=str2double(strcat(a(1:8)));

A(ii,2)=str2double(strcat(a(11:12)));

end

%SELECT MODIS NDSI IMAGES

[FileName2,PathName2] = uigetfile('*.tif', 'SELECT THE MODIS NDSI SNOW COVER IMAGES','Multiselect', 'on');

[k, l]=size(FileName2);

%BUILD INDEX MATRIX FOR MODIS NDSI IMAGES

for iii=k:l

b=FileName2{1,iii};

B(iii,1)=str2double(strcat(b(6:13)));

B(iii,2)=str2double(strcat(b(16:17)));

end


```

%SELECT MODIS DEM AND LAND CLASS IMAGES
[FileName11,PathName11] = uigetfile('*.tif', 'SELECT THE MODIS DEM
IMAGES','Multiselect', 'on');
[FileName22,PathName22] = uigetfile('*.tif', 'SELECT THE MODIS LAND CLASS
IMAGES','Multiselect', 'on');
[k1, l1]=size(FileName11);

%BUILD INDEX MATRIX FOR MODIS DEM AND LAND CLASS IMAGES
for iii=k1:l1
c=FileName11{1,iii};
C(iii,1)=str2double(strcat(c(14:15)));
end

%SELECT FOLDER WHERE THE TILE BASED MODIS VALIDATION RESULTS
WILL BE SAVED
path=uigetdir('c:', 'CHOOSE A FOLDER WHERE THE TILE BASED MODIS
VALIDATION RESULTS WILL BE SAVED');

for kk=m:n

    %FIND SENTINEL-2 AND MODIS NDSI PAIR INDICES
    [~,index_A,index_B] = intersect(A(kk,:),B,'rows');

    %FIND SENTINEL-2 AND MODIS DEM AND LAND CLASS PAIR INDICES
    [~,index_AA,index_BB] = intersect(A(kk,2),C,'rows');

    %READ SENTINEL-2 V1%2 BINARY SNOW MAP
    cd(PathName1);
    ss1=char(FileName1(kk));
    [S2_V1, data_S2A]= geotiffread(ss1);
    S2_V1 = double(S2_V1);
    info_S2A=geotiffinfo(ss1);

    %READ MODIS NDSI IMAGES
    cd(PathName2);
    hh1=char(FileName2(index_B));
    [MODIS,data_MODIS] = geotiffread(hh1);
    info_MODIS=geotiffinfo(hh1);

    %READ MODIS DEM AND LAND CLASS IMAGES
    cd(PathName11);
    hh11=char(FileName11(index_BB));
    [MODIS_DEM,data_MODIS_DEM] = geotiffread(hh11);

```

```

info_MODIS_DEM=geotiffinfo(hh11);

cd(PathName22);
hh22=char(FileName22(index_BB));
[MODIS_LC,data_MODIS_LC] = geotiffread(hh22);
info_MODIS_LC=geotiffinfo(hh22);

%FIND PIXEL COORDINATES TO CLIP MODIS NDSI, DEM AND LC IMAGES
%AND CLIP THE IMAGES
%MODIS NDSI IMAGE
[r1,c1] = map2pix(info_MODIS.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(1),
info_S2A.BoundingBox(4)); %LEFT TOP CORNER
[r2,c2] = map2pix(info_MODIS.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(1),
info_S2A.BoundingBox(3)); %LEFT BOTTOM CORNER
[r3,c3] = map2pix(info_MODIS.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(2),
info_S2A.BoundingBox(4)); %RIGHT TOP CORNER
[r4,c4] = map2pix(info_MODIS.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(2),
info_S2A.BoundingBox(3)); %RIGHT BOTTOM CORNER

r1=round(r1); r2=round(r2); r3=round(r3); r4=round(r4);
c1=round(c1); c2=round(c2); c3=round(c3); c4=round(c4);

row = [r1+1 r2-1];
col = [c1+1 c3-1];

MODIS_clipped = double(MODIS(row(1):row(2), col(1):col(2), :));

%MODIS DEM IMAGE
[r1Q,c1Q] = map2pix(info_MODIS_DEM.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(1),
info_S2A.BoundingBox(4)); %LEFT TOP CORNER
[r2Q,c2Q] = map2pix(info_MODIS_DEM.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(1),
info_S2A.BoundingBox(3)); %LEFT BOTTOM CORNER
[r3Q,c3Q] = map2pix(info_MODIS_DEM.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(2),
info_S2A.BoundingBox(4)); %RIGHT TOP CORNER
[r4Q,c4Q] = map2pix(info_MODIS_DEM.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(2),
info_S2A.BoundingBox(3)); %RIGHT BOTTOM CORNER

r1Q=round(r1Q); r2Q=round(r2Q); r3Q=round(r3Q); r4Q=round(r4Q);
c1Q=round(c1Q); c2Q=round(c2Q); c3Q=round(c3Q); c4Q=round(c4Q);

rowQ = [r1Q+1 r2Q-1];
colQ = [c1Q+1 c3Q-1];

MODIS_DEM_clipped = double(MODIS_DEM(rowQ(1):rowQ(2), colQ(1):colQ(2),
:));

%MODIS LC IMAGE

```

```

[r1QQ,c1QQ] = map2pix(info_MODIS_LC.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(1),
info_S2A.BoundingBox(4)); %LEFT TOP CORNER
[r2QQ,c2QQ] = map2pix(info_MODIS_LC.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(1),
info_S2A.BoundingBox(3)); %LEFT BOTTOM CORNER
[r3QQ,c3QQ] = map2pix(info_MODIS_LC.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(2),
info_S2A.BoundingBox(4)); %RIGHT TOP CORNER
[r4QQ,c4QQ] = map2pix(info_MODIS_LC.RefMatrix, info_S2A.BoundingBox(2),
info_S2A.BoundingBox(3)); %RIGHT BOTTOM CORNER

```

```

r1QQ=round(r1QQ); r2QQ=round(r2QQ); r3QQ=round(r3QQ); r4QQ=round(r4QQ);
c1QQ=round(c1QQ); c2QQ=round(c2QQ); c3QQ=round(c3QQ);
c4QQ=round(c4QQ);

```

```

rowQQ = [r1QQ+1 r2QQ-1];
colQQ = [c1QQ+1 c3QQ-1];

```

```

MODIS_LC_clipped = double(MODIS_LC(rowQQ(1):rowQQ(2),
colQQ(1):colQQ(2), :));

```

```

%ARRANGE REFMATRIX FOR CLIPPED MODIS NDSI AND QA DATA
IMAGES

```

```

%MODIS NDSI
xi = col + [-.5 .5];
yi = row + [-.5 .5];
[xlimits,ylimits] = intrinsicToWorld(data_MODIS,xi,yi);
sub_MODIS = data_MODIS;
sub_MODIS.RasterSize = size(MODIS_clipped);
sub_MODIS.XWorldLimits = sort(xlimits);
sub_MODIS.YWorldLimits = sort(ylimits);

```

```

%MODIS DEM IMAGE
xiQ = colQ + [-.5 .5];
yiQ = rowQ + [-.5 .5];
[xlimitsQ,ylimitsQ] = intrinsicToWorld(data_MODIS_DEM,xiQ,yiQ);
sub_MODIS_DEM = data_MODIS_DEM;
sub_MODIS_DEM.RasterSize = size(MODIS_DEM_clipped);
sub_MODIS_DEM.XWorldLimits = sort(xlimitsQ);
sub_MODIS_DEM.YWorldLimits = sort(ylimitsQ);

```

```

%MODIS LC IMAGE
xiQQ = colQQ + [-.5 .5];
yiQQ = rowQQ + [-.5 .5];
[xlimitsQQ,ylimitsQQ] = intrinsicToWorld(data_MODIS_LC,xiQQ,yiQQ);
sub_MODIS_LC = data_MODIS_LC;
sub_MODIS_LC.RasterSize = size(MODIS_LC_clipped);
sub_MODIS_LC.XWorldLimits = sort(xlimitsQQ);
sub_MODIS_LC.YWorldLimits = sort(ylimitsQQ);

```

```

% WRITE CLIPPED MODIS NDSI, DEM AND LC IMAGES
%MODIS NDSI IMAGE
cd(path);
MODIS_name=char(FileName2(index_B));
S2_V1_name=char(FileName1(kk));
b1='_clipped.tif';
geotiffwrite(strcat(MODIS_name(1:14),S2_V1_name(10:15),b1), MODIS_clipped,
sub_MODIS,
'GeoKeyDirectoryTag',info_MODIS.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag);

%MODIS DEM IMAGE
cd(path);
S2_V1_name=char(FileName1(kk));
b11='_DEM_clipped.tif';
geotiffwrite(strcat(S2_V1_name(1:15),b11), MODIS_DEM_clipped,
sub_MODIS_DEM,
'GeoKeyDirectoryTag',info_MODIS_DEM.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag);

%MODIS LC IMAGE
cd(path);
S2_V1_name=char(FileName1(kk));
b111='_LC_clipped.tif';
geotiffwrite(strcat(S2_V1_name(1:15),b111), MODIS_LC_clipped,
sub_MODIS_LC,
'GeoKeyDirectoryTag',info_MODIS_LC.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag);

%FIND PIXEL COORDINATES TO CLIP SENTINEL-2 V1&2 AND CLIP THE
SENTINEL-2 V1&2 SNOW IMAGE
[r11,c11] = map2pix(info_S2A.RefMatrix, sub_MODIS.XWorldLimits(1),
sub_MODIS.YWorldLimits(2)); %LEFT TOP CORNER
[r22,c22] = map2pix(info_S2A.RefMatrix, sub_MODIS.XWorldLimits(1),
sub_MODIS.YWorldLimits(1)); %LEFT BOTTOM CORNER
[r33,c33] = map2pix(info_S2A.RefMatrix, sub_MODIS.XWorldLimits(2),
sub_MODIS.YWorldLimits(2)); %RIGHT TOP CORNER
[r44,c44] = map2pix(info_S2A.RefMatrix, sub_MODIS.XWorldLimits(2),
sub_MODIS.YWorldLimits(1)); %RIGHT BOTTOM CORNER

r11=round(r11); r22=round(r22); r33=round(r33); r44=round(r44);
c11=round(c11); c22=round(c22); c33=round(c33); c44=round(c44);

row_S2A = [r11 r22];
col_S2A = [c11 c33];

S2_V1_clipped = S2_V1(row_S2A(1):row_S2A(2), col_S2A(1):col_S2A(2), :);

```

```

%ARRANGE REFMATRIX FOR CLIPPED SENTINEL 2 IMAGE
xi_S2A = col_S2A + [-.5 .5];
yi_S2A = row_S2A + [-.5 .5];
[xlimits,ylimits] = intrinsicToWorld(data_S2A,xi_S2A,yi_S2A);
sub_S2A = data_S2A;
sub_S2A.RasterSize = size(S2_V1_clipped);
sub_S2A.XWorldLimits = sort(xlimits);
sub_S2A.YWorldLimits = sort(ylimits);

% WRITE SENTINEL 2 CLIPPED IMAGES PART II
cd(path);
S2_V1_name=char(FileName1(kk));
geotiffwrite(strcat(S2_V1_name(1:end-4),b1),      S2_V1_clipped,      sub_S2A,
'GeoKeyDirectoryTag',info_S2A.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag);      %V1&2
CLIPPED

%CALCULATE SENTINEL 2 ROW AND COLUMN INDICES
row_no=linspace(1,size(S2_V1_clipped,1),size(MODIS_clipped,1)+1);
col_no=linspace(1,size(S2_V1_clipped,2),size(MODIS_clipped,2)+1);

row_no=round(row_no);
col_no=round(col_no);

%MATRIX PREALLOCATION
fsc_V1=zeros(size(MODIS_clipped, 1),size(MODIS_clipped, 2));
pixel_count_V1=zeros(size(MODIS_clipped, 1),size(MODIS_clipped, 2));
pixel_sum_V1=zeros(size(MODIS_clipped, 1),size(MODIS_clipped, 2));

%CALCULATE FSC IN A MODIS PIXEL
for i=1:size(MODIS_clipped, 1)
    for j=1:size(MODIS_clipped, 2)

        %FOR SENTINEL 2 VERSION 1&2 BINARY SNOW MAP

sub_area_V1=S2_V1_clipped(row_no(i):row_no(i+1),col_no(j):col_no(j+1));
fsc_V1(i,j)=mean(sub_area_V1(:)==1);
pixel_count_V1(i,j)=numel(sub_area_V1);
pixel_sum_V1(i,j)=sum(sub_area_V1(:));

    end
end

```

```

% WRITE MODIS SENTINEL 2 DERIVED FSC IMAGES
cd(path);
b2='S2_DERIVED_MODIS_FSC_V1&2.tif';
geotiffwrite(strcat(S2_V1_name(1:end-6),b2), fsc_V1, sub_MODIS,
'GeoKeyDirectoryTag',info_MODIS.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag);

% RESHAPE THE RESULT MATRICES
fsc_list_V1=reshape(fsc_V1, [size(fsc_V1,1)*size(fsc_V1,2),1]);
pixel_count_list_V1=reshape(pixel_count_V1, [size(fsc_V1,1)*size(fsc_V1,2),1]);
pixel_sum_list_V1=reshape(pixel_sum_V1, [size(fsc_V1,1)*size(fsc_V1,2),1]);
MODIS_original_V1=reshape(MODIS_clipped, [size(fsc_V1,1)*size(fsc_V1,2),1]);
MODIS_DEM_original_V1=reshape(MODIS_DEM_clipped,
[size(fsc_V1,1)*size(fsc_V1,2),1]);
MODIS_LC_original_V1=reshape(MODIS_LC_clipped,
[size(fsc_V1,1)*size(fsc_V1,2),1]);

list_V1(:,1)=fsc_list_V1;
list_V1(:,2)=pixel_count_list_V1;
list_V1(:,3)=pixel_sum_list_V1;
list_V1(:,4)=MODIS_original_V1;
list_V1(:,5)=MODIS_DEM_original_V1;
list_V1(:,6)=MODIS_LC_original_V1;

% COLUMN HEADERS FOR THE CSV FILE IN WHICH THE RESULTS WILL BE
STORED

headers1=['MODIS_S2A_FSC',',',',','PIXEL_COUNT',',',',','PIXEL_SUM',',',',','MODIS_ORIG
INAL_FSC',',',',','MODIS_DEM',',',',','MODIS_LC']; %FOR VERSION 1&2

% SAVE RESULTS INTO A CSV FILE
cd(path);
b3='FSC_Results_V1&2.csv';

fid03 = fopen(strcat(S2_V1_name(1:end-6),b3),'w');
fprintf(fid03,'%s\r\n',headers1);
fclose(fid03);
dlmwrite(strcat(S2_V1_name(1:end-6),b3),list_V1, '-
append','delimiter',',','precision',9);

```

```
%CALCULATE MODIS VALIDATION REPORTS IN A CSV FILE FOR VERSION  
1&2
```

```
zonal=list_V1;
```

```
zonal1=zonal(zonal(:,4)<101,:);  
zonal2=zonal1(all(~isnan(zonal1),2),:);  
zonal3=zonal2(zonal2(:,3)>=0,:);  
invalid=sum(zonal(:,4)>=101);  
sentinel_nodata=sum(zonal(:,3)<0);
```

```
H=zonal3(:,4)/100;  
S=zonal3(:,1);  
DEM_data=zonal3(:,5);  
LC_data=zonal3(:,6);
```

```
%FIND THE INDICES FOR LAND CLASS
```

```
LC_1=LC_data==1;  
LC_2=LC_data==2;  
LC_3=LC_data==3;  
LC_4=LC_data==4;  
LC_5=LC_data==5;  
LC_6=LC_data==6;  
LC_7=LC_data==7;  
LC_8=LC_data==8;  
LC_9=LC_data==9;  
%-----
```

```
%FIND THE INDICES FOR DEM CLASS (DEM_1=0-499; DEM_2=500-999;  
%DEM_3=1000-1499; DEM_4=1500-1999; DEM_5=2000-2499; DEM_6=2500-)  
DEM_1=DEM_data<500;  
DEM_2=DEM_data>=500 & DEM_data<1000;  
DEM_3=DEM_data>=1000 & DEM_data<1500;  
DEM_4=DEM_data>=1500 & DEM_data<2000;  
DEM_5=DEM_data>=2000 & DEM_data<2500;  
DEM_6=DEM_data>=2500;  
%-----
```

```
ind=S>=0 & S<0.1;  
SS=S(ind);  
HH=H(ind);  
s1=mean(SS(:));  
h1=mean(HH(:));  
std1=std(HH(:));  
c1=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.1 & S<0.2;  
SS=S(ind);
```

```
HH=H(ind);  
s2=mean(SS(:));  
h2=mean(HH(:));  
std2=std(HH(:));  
c2=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.2 & S<0.3;  
SS=S(ind);  
HH=H(ind);  
s3=mean(SS(:));  
h3=mean(HH(:));  
std3=std(HH(:));  
c3=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.3 & S<0.4;  
SS=S(ind);  
HH=H(ind);  
s4=mean(SS(:));  
h4=mean(HH(:));  
std4=std(HH(:));  
c4=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.4 & S<0.5;  
SS=S(ind);  
HH=H(ind);  
s5=mean(SS(:));  
h5=mean(HH(:));  
std5=std(HH(:));  
c5=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.5 & S<0.6;  
SS=S(ind);  
HH=H(ind);  
s6=mean(SS(:));  
h6=mean(HH(:));  
std6=std(HH(:));  
c6=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.6 & S<0.7;  
SS=S(ind);  
HH=H(ind);  
s7=mean(SS(:));  
h7=mean(HH(:));  
std7=std(HH(:));  
c7=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.7 & S<0.8;  
SS=S(ind);
```



```
HH=H(ind);
s8=mean(SS(:));
h8=mean(HH(:));
std8=std(HH(:));
c8=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.8 & S<0.9;
SS=S(ind);
HH=H(ind);
s9=mean(SS(:));
h9=mean(HH(:));
std9=std(HH(:));
c9=numel(SS);
```

```
ind=S>=0.9 & S<=1.0;
SS=S(ind);
HH=H(ind);
s10=mean(SS(:));
h10=mean(HH(:));
std10=std(HH(:));
c10=numel(SS);
```

```
CC=corrcoef(S,H);
Root_Mean=sqrt(mean((S(:)-H(:)).^2));
```

```
%R AND RMSE FOR LAND CLASS 1 TO 9
```

```
S_LC_1=S(LC_1); H_LC_1=H(LC_1);
S_LC_2=S(LC_2); H_LC_2=H(LC_2);
S_LC_3=S(LC_3); H_LC_3=H(LC_3);
S_LC_4=S(LC_4); H_LC_4=H(LC_4);
S_LC_5=S(LC_5); H_LC_5=H(LC_5);
S_LC_6=S(LC_6); H_LC_6=H(LC_6);
S_LC_7=S(LC_7); H_LC_7=H(LC_7);
S_LC_8=S(LC_8); H_LC_8=H(LC_8);
S_LC_9=S(LC_9); H_LC_9=H(LC_9);
```

```
CC_LC_1=corrcoef(S_LC_1,H_LC_1);
CC_LC_2=corrcoef(S_LC_2,H_LC_2);
CC_LC_3=corrcoef(S_LC_3,H_LC_3);
CC_LC_4=corrcoef(S_LC_4,H_LC_4);
CC_LC_5=corrcoef(S_LC_5,H_LC_5);
CC_LC_6=corrcoef(S_LC_6,H_LC_6);
CC_LC_7=corrcoef(S_LC_7,H_LC_7);
CC_LC_8=corrcoef(S_LC_8,H_LC_8);
CC_LC_9=corrcoef(S_LC_9,H_LC_9);
```

```
%Korelasyon tek pixel icin tek say? gelirse diye
if numel(CC_LC_1)==1;
```

```
    CC_LC_1=NaN(2); else CC_LC_1=CC_LC_1;
end
```

```
if numel(CC_LC_2)==1;
    CC_LC_2=NaN(2); else CC_LC_2=CC_LC_2;
end
```

```
if numel(CC_LC_3)==1;
    CC_LC_3=NaN(2); else CC_LC_3=CC_LC_3;
end
```

```
if numel(CC_LC_4)==1;
    CC_LC_4=NaN(2); else CC_LC_4=CC_LC_4;
end
```

```
if numel(CC_LC_5)==1;
    CC_LC_5=NaN(2); else CC_LC_5=CC_LC_5;
end
```

```
if numel(CC_LC_6)==1;
    CC_LC_6=NaN(2); else CC_LC_6=CC_LC_6;
end
```

```
if numel(CC_LC_7)==1;
    CC_LC_7=NaN(2); else CC_LC_7=CC_LC_7;
end
```

```
if numel(CC_LC_8)==1;
    CC_LC_8=NaN(2); else CC_LC_8=CC_LC_8;
end
```

```
if numel(CC_LC_9)==1;
    CC_LC_9=NaN(2); else CC_LC_9=CC_LC_9;
end
```

```
RM_LC_1=sqrt(mean((S_LC_1(:)-H_LC_1(:)).^2));
RM_LC_2=sqrt(mean((S_LC_2(:)-H_LC_2(:)).^2));
RM_LC_3=sqrt(mean((S_LC_3(:)-H_LC_3(:)).^2));
RM_LC_4=sqrt(mean((S_LC_4(:)-H_LC_4(:)).^2));
RM_LC_5=sqrt(mean((S_LC_5(:)-H_LC_5(:)).^2));
RM_LC_6=sqrt(mean((S_LC_6(:)-H_LC_6(:)).^2));
RM_LC_7=sqrt(mean((S_LC_7(:)-H_LC_7(:)).^2));
RM_LC_8=sqrt(mean((S_LC_8(:)-H_LC_8(:)).^2));
RM_LC_9=sqrt(mean((S_LC_9(:)-H_LC_9(:)).^2));
```

```
%R AND RMSE FOR DEM CLASS 1 TO 6
S_DEM_1=S(DEM_1); H_DEM_1=H(DEM_1);
```

```

S_DEM_2=S(DEM_2); H_DEM_2=H(DEM_2);
S_DEM_3=S(DEM_3); H_DEM_3=H(DEM_3);
S_DEM_4=S(DEM_4); H_DEM_4=H(DEM_4);
S_DEM_5=S(DEM_5); H_DEM_5=H(DEM_5);
S_DEM_6=S(DEM_6); H_DEM_6=H(DEM_6);

```

```

CC_DEM_1=corrcoef(S_DEM_1,H_DEM_1);
CC_DEM_2=corrcoef(S_DEM_2,H_DEM_2);
CC_DEM_3=corrcoef(S_DEM_3,H_DEM_3);
CC_DEM_4=corrcoef(S_DEM_4,H_DEM_4);
CC_DEM_5=corrcoef(S_DEM_5,H_DEM_5);
CC_DEM_6=corrcoef(S_DEM_6,H_DEM_6);

```

```

%Korelasyon tek pixel icin tek say? gelirse diye

```

```

if numel(CC_DEM_1)==1;
    CC_DEM_1=NaN(2); else CC_DEM_1=CC_DEM_1;
end

```

```

if numel(CC_DEM_2)==1;
    CC_DEM_2=NaN(2); else CC_DEM_2=CC_DEM_2;
end

```

```

if numel(CC_DEM_3)==1;
    CC_DEM_3=NaN(2); else CC_DEM_3=CC_DEM_3;
end

```

```

if numel(CC_DEM_4)==1;
    CC_DEM_4=NaN(2); else CC_DEM_4=CC_DEM_4;
end

```

```

if numel(CC_DEM_5)==1;
    CC_DEM_5=NaN(2); else CC_DEM_5=CC_DEM_5;
end

```

```

if numel(CC_DEM_6)==1;
    CC_DEM_6=NaN(2); else CC_DEM_6=CC_DEM_6;
end

```

```

RM_DEM_1=sqrt(mean((S_DEM_1(:)-H_DEM_1(:)).^2));
RM_DEM_2=sqrt(mean((S_DEM_2(:)-H_DEM_2(:)).^2));
RM_DEM_3=sqrt(mean((S_DEM_3(:)-H_DEM_3(:)).^2));
RM_DEM_4=sqrt(mean((S_DEM_4(:)-H_DEM_4(:)).^2));
RM_DEM_5=sqrt(mean((S_DEM_5(:)-H_DEM_5(:)).^2));
RM_DEM_6=sqrt(mean((S_DEM_6(:)-H_DEM_6(:)).^2));

```

```

Result_V1=[s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7 s8 s9 s10];

```

```

h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9 h10;
c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10;
std1 std2 std3 std4 std5 std6 std7 std8 std9 std10;
0 CC_LC_1(2) CC_LC_2(2) CC_LC_3(2) CC_LC_4(2) CC_LC_5(2) CC_LC_6(2)
CC_LC_7(2) CC_LC_8(2) CC_LC_9(2);
0 RM_LC_1 RM_LC_2 RM_LC_3 RM_LC_4 RM_LC_5 RM_LC_6 RM_LC_7
RM_LC_8 RM_LC_9;
0 0 0 0 CC_DEM_1(2) CC_DEM_2(2) CC_DEM_3(2) CC_DEM_4(2)
CC_DEM_5(2) CC_DEM_6(2);
0 0 0 0 RM_DEM_1 RM_DEM_2 RM_DEM_3 RM_DEM_4 RM_DEM_5
RM_DEM_6;
0 0 0 0 0 Root_Mean CC(2) invalid sentinel_nodata]';

```

```

xx(kk).Tile_no=ss1(10:15);
xx(kk).Year=str2double(ss1(1:4));
xx(kk).Month=str2double(ss1(5:6));
xx(kk).Day=str2double(ss1(7:8));

```

```

xx(kk).MODIS_RMSE=Result_V1(7,9);
xx(kk).MODIS_R=Result_V1(8,9);

```

```

xx(kk).MODIS_R_LC_1=Result_V1(2,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_2=Result_V1(3,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_3=Result_V1(4,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_4=Result_V1(5,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_5=Result_V1(6,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_6=Result_V1(7,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_7=Result_V1(8,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_8=Result_V1(9,5);
xx(kk).MODIS_R_LC_9=Result_V1(10,5);

```

```

xx(kk).MODIS_RMSE_LC_1=Result_V1(2,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_2=Result_V1(3,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_3=Result_V1(4,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_4=Result_V1(5,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_5=Result_V1(6,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_6=Result_V1(7,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_7=Result_V1(8,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_8=Result_V1(9,6);
xx(kk).MODIS_RMSE_LC_9=Result_V1(10,6);

```

```

%NUMBER OF PIXELS FROM EACH LAND CLASS
xx(kk).NUM_PIX_LC_1=numel(S_LC_1);
xx(kk).NUM_PIX_LC_2=numel(S_LC_2);
xx(kk).NUM_PIX_LC_3=numel(S_LC_3);
xx(kk).NUM_PIX_LC_4=numel(S_LC_4);

```

```

xx(kk).NUM_PIX_LC_5=numel(S_LC_5);
xx(kk).NUM_PIX_LC_6=numel(S_LC_6);
xx(kk).NUM_PIX_LC_7=numel(S_LC_7);
xx(kk).NUM_PIX_LC_8=numel(S_LC_8);
xx(kk).NUM_PIX_LC_9=numel(S_LC_9);
%-----

xx(kk).MODIS_R_DEM_1=Result_V1(5,7);
xx(kk).MODIS_R_DEM_2=Result_V1(6,7);
xx(kk).MODIS_R_DEM_3=Result_V1(7,7);
xx(kk).MODIS_R_DEM_4=Result_V1(8,7);
xx(kk).MODIS_R_DEM_5=Result_V1(9,7);
xx(kk).MODIS_R_DEM_6=Result_V1(10,7);

xx(kk).MODIS_RMSE_DEM_1=Result_V1(5,8);
xx(kk).MODIS_RMSE_DEM_2=Result_V1(6,8);
xx(kk).MODIS_RMSE_DEM_3=Result_V1(7,8);
xx(kk).MODIS_RMSE_DEM_4=Result_V1(8,8);
xx(kk).MODIS_RMSE_DEM_5=Result_V1(9,8);
xx(kk).MODIS_RMSE_DEM_6=Result_V1(10,8);

%NUMBER OF PIXELS FROM EACH DEM CLASS
xx(kk).NUM_PIX_DEM_1=numel(S_DEM_1);
xx(kk).NUM_PIX_DEM_2=numel(S_DEM_2);
xx(kk).NUM_PIX_DEM_3=numel(S_DEM_3);
xx(kk).NUM_PIX_DEM_4=numel(S_DEM_4);
xx(kk).NUM_PIX_DEM_5=numel(S_DEM_5);
xx(kk).NUM_PIX_DEM_6=numel(S_DEM_6);
%-----

%COLUMN HEADERS FOR THE CSV FILE IN WHICH THE MODIS
VALIDATION RESULTS WILL BE STORED
headers2=['Sentinel 10% Mean',',','MODIS 10% Mean',',','Pixel Count',',','Standard
Dev.',',','CC_LC',',','RMSE_LC',',','CC_DEM',',','RMSE_DEM',',','Root_Mean      CC
MODIS_invalid S2_nodata']; %FOR VERSION 3

%SAVE MODIS VALIDATION RESULTS INTO A CSV FILE
cd(path);
b4='MODIS_Validation_Results_V1&2.csv';

fid06 = fopen(strcat(S2_V1_name(1:end-6),b4),'w');
fprintf(fid06,'%s\r\n',headers2);
fclose(fid06);
dlmwrite(strcat(S2_V1_name(1:end-6),b4),Result_V1,'-
append','delimiter',',','precision',9);

```

```
clear list_V1; clear zonal; clear zonal1; clear zonal2; clear zonal3; clear Result_V1;  
clear CC; clear Root_Mean;  
clear sub_area_V1; clear fsc_V1; clear pixel_count_V1; clear pixel_sum_V1; clear  
cloud_mean_V1;  
  
end
```



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Uğur TUTTU
Doğum Yeri : Reşadiye
Doğum Tarihi : 10/02/1981
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
Adres : Kırkevlr Mh. Kastamonu cd. No:82/4 Merkez /ÇANKIRI
Tel : (0534) 963 6664
E-Posta : ugur.tuttu@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Fatih Vatan Lisesi (1997)
Lisans : İstanbul Üniversitesi (2012)
Yüksek Lisans : Çankırı Karatekin Üniversitesi (2017-2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Öz-el Lastik KaytanTicaret Sanayi A.Ş. bilgi işlem müdürü (1998 - 2010)

Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü 9. Bölge Müdürlüğü işçi mühendis (2012 - 2014)

MEB Korgun İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü (2014 – Halen)

Yayınları

Tuttu, U., & Kuter, S. (2019). Testing the Accuracy of MODIS Fractional Snow Cover Product for the 2017-2018 Snow Season over Turkey by using Sentinel 2 MSI Data. International Conference on Climate Change and Forestry - ICCCF'2019, 12-15 Kasım 2019, Antalya, Turkey (Tam metin sözlü bildiri).