SENTINEL-2A ÇOK SPEKTRALI GÖRÜNTÜLERDEN İKİLİ KAR ÖRTÜSÜ HARİTALAMASI İÇİN İLK DOĞRULAMA SONUÇLARI

Semih KUTER¹, Zuhal AKYÜREK^{2,3}

¹Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 18200, Çankırı, semihkuter@karatekin.edu.tr

²Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, zakyurek@metu.edu.tr

³Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü, 06800, Ankara

ÖZET

Kuzey yarım küredeki kış mevsimleri süresince karın yerküre yüzeyinin %40'ına yakın bir alanını kaplayabildiği düşünüldüğünde, mevsimsel kar örtüsünün kapsamı ve değişkenliğinin birçok iklimsel, hidrolojik ve ekolojik süreçte önemli rol oynadığı çok açıktır. Uzaktan algılama, 60'lı yılların ortalarından bu yana çeşitli türdeki düşük ve orta mekânsal çözünürlüğe sahip sensörlerle elde edilen zamanlı ve çok spektral veriler yoluyla kar örtüsünün tutarlı bir şekilde izlenmesi için eşsiz fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, kar örtüsü haritalamasına yönelik olarak çok spektral Sentinel-2A cihazının kullanımını araştırmak ve buna yönelik olarak yapılan doğrulama çalışmalarının ilk sonuçlarını ortaya koymaktır. Sentinel-2A ESA tarafından geliştirilmiş ve işletilen çok spektral görüntüleyicinin adıdır. Cihaz 443 - 2190 nm aralığında ve üç farklı mekânsal çözünürlüğe sahip toplam 13 spektral banta sahiptir (10 m'de 4 görünür ve yakın kızılötesi bant, 20 m'de 6 kırmızı kenar / kısa dalga-kızılötesi bant ve 60 m'de 3 atmosferik düzeltme bandı). Türkiye'nin kuzeydoğu kesiminde yer alan Yukarı Fırat Havzası, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Fırat-Dicle havzasını besleyen en önemli kaynaklardan biri olan Doğu Anadolu'nun dağlık bölgelerindeki karla kaplı alanın modellenmesi, özellikle enerji üretimi, taşkın kontrolü, sulama ve baraj işletme çalışmalarına yönelik olarak kar erimesi miktarının tahmin edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Analizlerde Kasım 2016 ile Mayıs 2017 arasında çekilen 27 Sentinel-2A görüntüsü kullanılmıştır. Bu tarihlerdeki havza alanında bulunan 24 yer istasyonundan elde edilen kar ölçümleri doğrulama seti olarak alınmıştır. İkili kar örtüsü haritaları (kar / kar değil) Hall vd. (1995)'de tanımlanan metodoloji kullanılarak üretilmiştir. İkili sınıflandırma doğruluk metrikleri sonuçlarına göre, elde edilen Sentinel-2A ikili kar haritaları ACC (genel doğruluk) = 0.87, POD (algılama olasılığı) = 0.90 ve FAR (yanlış alarm oranı) = 0.06 değerleri ile yer istasyonu verileriyle iyi bir uyum içindedir.

Anahtar Sözcükler: ikili kar örtüsü haritalaması, kar hidrolojisi, karın uzaktan algılanması, Sentinel-2A

ABSTRACT

INITIAL VALIDATION RESULTS OF BINARY SNOW COVER MAPPING FROM SENTINEL-2A MULTISPECTRAL IMAGERY

Since snow can cover up to 40% of the Earth's land surface during the Northern Hemisphere winter, the extent and the variability of seasonal snow cover are important parameters in many climatological, hydrological, and ecological processes. Remote sensing has been providing unique opportunities for consistent monitoring of snow cover extent with timely and multispectral data acquired by various kinds of coarse and medium spatial resolution instruments since the mid-60s. This study aims to investigate the use of Sentinel-2A multispectral imagery for snow cover mapping and introduce the initial results of validation efforts. Sentinel-2A is the name of a multispectral imager developed and operated by ESA. The instrument has 13 spectral bands ranging from 443 to 2190 nm at three different spatial resolutions, i.e., 4 visible and near-infrared bands at 10 m, 6 red-edge/shortwave-infrared bands at 20 m, and 3 atmospheric correction bands at 60 m. Upper Euphrates Basin located in the north-eastern part of Turkey is selected as the study area. Modeling of snow-covered area in the mountainous regions of Eastern Turkey, as being one of the major headwaters of Euphrates-Tigris basin, has significant importance in order to forecast snowmelt discharge especially for energy production, flood control, irrigation and reservoir operation studies. 27 Sentinel-2A images acquired between November 2016 and May 2017 are used in the analysis. Snow measurements from 24 ground stations in the basin area within these dates are used as a validation set. The binary snow cover maps (i.e., snow/non-snow) are produced by using the methodology proposed in Hall vd. (1995). According to the results indicated by the binary accuracy metrics, the generated Sentinel-2A binary snow maps are in good agreement with the ground station data with ACC (overall accuracy) = 0.87, POD (probability of detection) = 0.90 and FAR (false alarm ratio) = 0.06.

Keywords: binary snow cover mapping, snow hydrology remote sensing of snow, Sentinel-2A

1. GİRİŞ

Kar, dünya yüzeyinin önemli bir fiziki ögesi olup mekânsal ve zamansal dağılımının sürekli gözlemlenmesi temel çevre araştırmaları açısından oldukça önemlidir. İklim bilimi açısından bakıldığında kar örtüsü, i) elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesine yakın bölgelerindeki yüksek albedosu sayesinde güneşten gelen ışığın büyük miktarını yansıttığı (Hall ve Martinec, 1985) ve ii) zayıf ısı iletkenliği özelliğiyle bir yalıtkan madde gibi etki göstererek kış boyunca dünya yüzeyinden ısıнын serbest bırakılmasını engellediği için dünya ile atmosfer arasındaki enerji alışverişi süreci üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Zhang, 2005). Kar kütlelerinde biriken su, kış mevsimi

boyunca potansiyel bir sel baskını riski taşıyan yüksek miktarda donmuş su rezervi olarak işlev görmekte olup aynı zamanda enerji ve su tedariki açısından kıymetli bir kaynak teşkil etmektedir (Akyürek vd., 2010).

Karın mekânsal dağılımı, önemli bir iklim değişkeni olarak kabul edilmektedir (Hüsler vd., 2012). Dolayısıyla karla kaplı alan (KKA)'ın doğru bir şekilde modellenmesi, kar-su eş değerinin daha iyi tahminlenmesi ve nihayetinde iklim değişikliği ve hidrolojik çalışmaların yanı sıra, atmosferik dolaşım ve hava tahmin modellerinin başarısı açısından da önemlidir (Clark vd., 2006; Hosaka vd., 2005). Saha ölçümlerine dayanan KKA analizleri (Latenser ve Schneebeil, 2003; Marty, 2008) yüksek kaliteli uzun zaman serisi verisi sağlasa da saha ölçümleri yoluyla KKA haritalanması ekonomik ve lojistik açıdan pratik değildir (Gafurov ve Bárdossy, 2009). Uzaktan algılama (UA), ilk operasyonel kar haritalamasının Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) tarafından yapıldığı 60'lı yılların ortalarından bu yana, çeşitli düşük ve orta mekânsal çözünürlüğe sahip sensörlerle elde edilen zamanlı ve çok spektralı verilerle kar örtüsünün istikrarlı bir şekilde izlenmesi için güçlü bir alternatif sunmaktadır (Hall ve Martinec, 1985).

UA ile üretilen kar örtüsü haritalarının güvenilirliğinin test edilmesi açısından sürekli olarak yapılacak doğrulama çalışmaları önemlidir. Dünya çapındaki kapsama alanı ve yaklaşık 30 yıllık veri kaydı ile Landsat TM ve ETM+, çoğu zaman en iyi doğrulama veri seti olarak düşünülmüş ve düşük ve orta mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilen çeşitli kar örtüsü ürünleri için algoritma geliştirme ve doğrulama çalışmalarında sıklıkla kullanılmıştır (Dobrev ve Klein, 2011; Hall vd., 1995; Hüsler vd., 2012; Salomonson ve Appel, 2004, 2006; Vikhamar ve Solberg, 2003). Bununla birlikte, ETM+ bantlarının kar ve kum gibi parlak hedefler için optik dalga boylarında doyması (Karnieli vd., 2004) ve SLC hatası (Zeng vd., 2013) (görüntü başına piksellerin %22'sinin taranmamasına neden olur) ETM+'ın sıkıntılı bir doğrulama kaynağı olmasına neden olmaktadır.

Türkiye'de kar kaplı alanların UA ile izlenmesi 2000 yılından bu yana farklı uydu görüntüleri kullanılarak yapılmaktadır (Akyürek ve Şorman, 2002; Atas vd., 2016; Süre ve Akyürek, 2012; Tekeli vd., 2005). 2005 yılından beri yürütülmekte olan EUMETSAT HSAF projesi kapsamında operasyonel günlük kar kaplı alan, etkili kar kaplı alan ve kar-su eş değeri ürünleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından günlük alanlar için üretilmektedir. Proje ortağı Finlandiya Meteoroloji Enstitüsü (FMI) tarafından üretilen düzlük/ormanlık alan ürünü ile birleştirilen ürünler EUMETCAST aracılığı ile sunulmaktadır (<http://hsaf.meteoam.it/>). ODTÜ kar grubu tarafından yürütülen ürün geliştirme ve doğrulama çalışmalarında farklı mekânsal ve zamansal çözünürlükteki uydu görüntüleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ESA (Avrupa Uzay Ajansı - European Space Agency) tarafından işletilmekte olan çok spektralı Sentinel-2A cihazının kar örtüsü haritalaması amacıyla kullanımının araştırılması ve bu doğrultuda yapılan validasyon çalışmalarına ait ön bulguların sunulması amaçlanmaktadır. Landsat ETM+ ile karşılaştırıldığında, Sentinel-2A daha yüksek mekânsal, radyometrik ve zamansal çözünürlüğe sahip olup, UA yolu ile elde edilen bölgesel ve küresel ölçekteki kar haritalarının sürekli doğrulaması amacıyla yapılacak olan çalışmalar için gelecek vadeden önemli bir veri kaynağı olarak görülmektedir. Bu amaca yönelik olarak, çalışma sahası olarak seçilen Yukarı Fırat Havzası'na ait 2016-2017 Türkiye kar sezonu için Sentinel-2A görüntülerinden üretilen ikili kar haritaları (kar/kar değil) yer istasyon verisi ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: Bir sonraki bölümde çalışma alanı, kullanılan uydu görüntü seti ve ilgili ön işleme aşamaları ile doğrulamada kullanılan yer istasyon verisi tanıtılmaktadır. Elde edilen bulgular ile ilgili ayrıntılar Bölüm 3'te verilmektedir. Son olarak, Bölüm 4'te çalışmanın sonuçları tartışılmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Çalışma Alanı ve Sentinel-2A Görüntüler

Sentinel-2A 443 - 2190 nm aralığında ve üç farklı mekânsal çözünürlüğe sahip toplam 13 spektral banta sahiptir (10 m'de 4 görünür ve yakın kızılötesi bant, 20 m'de 6 kırmızı kenar / kısa dalga-kızılötesi bant ve 60 m'de 3 atmosferik düzeltme bandı). Sentinel-2A spektral bantlara ait ayrıntılı bilgi Çizelge 1'de verilmektedir. Çalışma alanı olarak Türkiye'nin kuzeydoğu kesiminde yer alan Yukarı Fırat Havzası belirlenmiştir (Bkz. Şekil 1).

Fırat-Dicle havzasını besleyen en önemli kaynaklardan biri olan Doğu Anadolu'nun dağlık bölgelerindeki karla kaplı alanın modellenmesi, özellikle enerji üretimi, taşkın kontrolü, sulama ve rezervuar işletme optimizasyonuna yönelik olarak kar erimesi deşarjının tahmin edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Analizlerde Kasım 2016 ile Mayıs 2017 arasında çekilen 27 Sentinel-2A görüntüsü kullanılmıştır. Görüntülerin ön işleme aşamasında ESA'nın SNAP yazılımı (SNAP, 2018) kullanılmıştır. Bu tarihlerdeki havza alanında bulunan toplam 24 yer istasyonundan elde edilen kar ölçümleri doğrulama seti olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Sentinel-2A spektral bantlar.

[1] Bant no	[2] Dalga boyu (µm)	[3] Mekansal çözünürlük (m)
[4] Bant 1	[5] 0.430 – 0.458	[6] 60
[7] Bant 2	[8] 0.447 – 0.545	[9] 10
[10] Bant 3	[11] 0.538 – 0.582	[12] 10
[13] Bant 4	[14] 0.645 – 0.683	[15] 10
[16] Bant 5	[17] 0.694 – 0.714	[18] 20
[19] Bant 6	[20] 0.731 – 0.749	[21] 20
[22] Bant 7	[23] 0.768 – 0.796	[24] 20
[25] Bant 8A	[26] 0.848 – 0.882	[27] 20
[28] Bant 8	[29] 0.763 – 0.907	[30] 10
[31] Bant 9	[32] 0.932 – 0.958	[33] 60
[34] Bant 10	[35] 1.336 – 1.412	[36] 60
[37] Bant 11	[38] 1.542 – 1.686	[39] 20
[40] Bant 12	[41] 2.081 – 2.323	[42] 20

Şekil 1. Çalışma alanı.

İkili kar örtüsü haritaları (kar / kar değil) Hall vd. (1995)'de tanımlanan metodoloji kullanılarak üretilmiştir. Bu ikili kar sınıflandırma algoritmasında bir Sentinel-2A pikselinin kar olarak sınıflandırılabilmesi için bant 3 ve bant 11 reflektans değerlerinden üretilen ve Eşitlik 1'de verilen normalize fark kar indisi - normalized difference snow index (NDSI) değerinin ≥ 0.4 , bant 3 reflektans değerinin $\geq \%10$ ve bant 8A reflektans değerinin $> \%11$ olması koşullarının aynı anda sağlanması gerekmektedir. 9 Aralık 2016 tarihli ve T37SED karolu Sentinel-2A verisine ait RGB gerçek renk görüntü ve üretilen ikili kar haritası Şekil 2'de gösterilmektedir.

Uydu görüntü analizlerinde sıklıkla kullanılan elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi kısımlarında alçak bulutlar ve kar benzer radyometrik özelliklere sahiptir; görünür dalga boyunda her ikisi de yüksek reflektansa sahipken kızılötesi bölgede benzer termal karakteristik sergilerler. Bu durum özellikle yoğun bulut örtüsünün olduğu durumlarda kar sınıflandırmasında sıkıntı yarattığından analizlerde kullanılan görüntüler minimum bulut örtüsü olacak şekilde seçilerek USGS'in (Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar - U.S. Geological Survey) ilgili web sitesinden indirilmiştir (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Çalışmada kullanılan Sentinel-2A görüntülerle ilgili ayrıntılı bilgi Çizelge 2'de verilmektedir.

$$NDSI_{\text{Sentinel-2A}} = \frac{bant3 - bant11}{bant3 + bant11} \quad (1)$$

Şekil 2. 09.12.2016 tarihli T37SED Sentinel-2A: a) RGB gerçek renk görüntü b) ikili kar haritası.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan Sentinel-2A görüntüler.

[43]	Görüntü no	[44]	Görüntü tarihi	[45]	Karo no	[46]	Bulutluluk (%)
[47]	1	[48]	06.11.2016	[49]	T37TFE	[50]	6.45
[51]	2	[52]	06.11.2016	[53]	T37TGE	[54]	6.02
[55]	3	[56]	06.11.2016	[57]	T38TKK	[58]	5.53
[59]	4	[60]	09.12.2016	[61]	T37SED	[62]	1.72
[63]	5	[64]	19.12.2016	[65]	T37TDE	[66]	14.68
[67]	6	[68]	19.12.2016	[69]	T37TEE	[70]	30.34
[71]	7	[72]	22.12.2016	[73]	T37TDE	[74]	23.52
[75]	8	[76]	05.01.2017	[77]	T37TGE	[78]	21.03
[79]	9	[80]	05.01.2017	[81]	T38TKK	[82]	20.71
[83]	10	[84]	18.01.2017	[85]	T37TDE	[86]	25.18
[87]	11	[88]	10.02.2017	[89]	T37TDE	[90]	20.32
[91]	12	[92]	24.02.2017	[93]	T37SFD	[94]	13.01
[95]	13	[96]	24.02.2017	[97]	T37SGD	[98]	19.94
[99]	14	[100]	24.02.2017	[101]	T37TFE	[102]	2.46
[103]	15	[104]	24.02.2017	[105]	T37TGE	[106]	0.74
[107]	16	[108]	24.02.2017	[109]	T38TKK	[110]	0.94
[111]	17	[112]	06.03.2017	[113]	T37SGD	[114]	12.36
[115]	18	[116]	06.03.2017	[117]	T37TGE	[118]	30.26
[119]	19	[120]	06.03.2017	[121]	T38TKK	[122]	25.98
[123]	20	[124]	09.03.2017	[125]	T37TEE	[126]	7.49
[127]	21	[128]	09.03.2017	[129]	T37TFE	[130]	12.04
[131]	22	[132]	29.03.2017	[133]	T37SED	[134]	12.86
[135]	23	[136]	29.03.2017	[137]	T37TDE	[138]	16.23
[139]	24	[140]	29.03.2017	[141]	T37TEE	[142]	20.40
[143]	25	[144]	28.04.2017	[145]	T37SED	[146]	21.68
[147]	26	[148]	28.04.2017	[149]	T37TFE	[150]	30.34
[151]	27	[152]	25.05.2017	[153]	T37TFE	[154]	8.20

2.2 Yer Verisi

Kar derinliği otomatik meteoroloji istasyonları aracılığıyla MGM tarafından ölçülmektedir. 10 dakika aralıklarla ölçülen ham veriden çeşitli filtrelemeler uygulanarak günlük kar derinlikleri elde edilmektedir. Çizelge 2’de verilen görüntülerden üretilen ikili kar haritalarının validasyonu için toplam 24 yer istasyonuna ait kar ölçümleri kullanılmış olup bu istasyonların konumları ve ilgili Sentinel-2A karoları Şekil 3’te gösterilmektedir. Toplamda 61 yer verisi kullanılmıştır.

Şekil 3. Yer istasyonları ve Sentinel-2A karolarının konumları.

2.3 Sentinel-2A İkili Kar Haritalarının Yer İstasyon Verisi ile Karşılaştırılması

Çalışma alanındaki uydu görüntülerinden elde edilen ikili kar haritalarının yer istasyon verileriyle karşılaştırılmasında Çizelge 3’te verilen örnek ikili hata matrisi ve bu matristen üretilen ve aşağıda belirtilen performans değerlendirme metrikleri kullanılmıştır (Doswell III vd., 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 3. İkili hata matrisi.

		Yer İstasyon Verisi		
		kar	kar değil	
Uydu Görüntüsü	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	

Farklı rakımlarda (1280 - 2937 m) işletilen otomatik meteoroloji istasyonlarından çalışmada kullanılan 5 tanesine ait 2016-2017 kar sezonu için ölçülen kar derinlikleri ve Sentinel-2A görüntülerinin elde edildiği günlerdeki sınıflandırma sonuçları Şekil 4'te sunulmaktadır.

Şekil 4. Yer istasyonlarından elde edilen kar derinliği ve ilgili istasyon lokasyonuna ait Sentinel-2A kar sınıflandırması değerleri.

3. SONUÇLAR

Uydu görüntülerinden elde edilen ikili kar haritalarının yer istasyon verisiyle karşılaştırılmasından **Çizelge 4**'teki ikili hata matrisi elde edilmekte olup, bu hata matrisi kullanılarak hesaplanan ikili performans metrikleri ise **Çizelge 5**'te verilmektedir.

Çizelge 4. Uydu görüntüleri ve yer istasyon verilerinden elde edilen hata matrisi.

		Yer İstasyon Verisi		
		kar	kar değil	
Uydu Görüntüsü	kar	46	3	49
	kar değil	5	7	12
		51	10	

Çizelge 5. Sentinel-2A ikili kar haritaları için hesaplanan doğrulama metrikleri.

[155]	Performans metriği	[156]	Değer
[157]	POD	[158]	0.9020
[159]	FAR	[160]	0.0612
[161]	POFD	[162]	0.3000
[163]	ACC	[164]	0.8689
[165]	CSI	[166]	0.8519
[167]	HSS	[168]	0.5572

Çizelge 5'te verilen doğrulama metrikleri incelendiğinde, Sentinel-2A görüntülerden üretilen ikili kar haritalarının $POD = 0.90$ ve $ACC = 0.87$ değerleri ile yer istasyon verisiyle uyum içinde ve oldukça yüksek doğrulukta olduğu gözlemlenmektedir. $FAR = 0.06$ ve $POFD = 0.30$ değerleri, görüntülerden elde edilen 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 aslında bulut olan pikselin algoritma tarafından hatalı olarak kar olarak sınıflandırılmasından ya da *ii*) yer istasyonunun kar gösterdiği durumda bulut olan pikselin algoritma tarafından doğru olarak kar değil olarak sınıflandırılmasından kaynaklandığı görülmektedir.

4. TARTIŞMA

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

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Sentinel-2A görüntülerinden elde edilen ikili kar haritalarının düşük ve orta mekânsal çözünürlüklü UA görüntülerinden üretilen kar örtüsü haritalarının sürekli doğrulama çalışmalarında kullanılmasının uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Landsat 7/8 sensörleriyle karşılaştırıldığında *i*) daha yüksek olan mekânsal çözünürlüğü, *ii*) Sentinel-2A ve 2B'nin birlikte kullanılmasıyla orta derecedeki enlemler için 5 gün olan zamansal çözünürlüğü, Sentinel-2'yi bu anlamda oldukça avantajlı duruma getirmektedir.

Bu çalışmada da Sentinel-2A görüntülerinden ikili kar haritası üretilmesi için kullanılan ve bir pikselin kar veya kar değil olarak etiketlendiği NDSI hesaplamasına dayanan benzer algoritmaların başarısını etkileyen en önemli faktör kar/bulut ayrımıdır. Hatalı kar/bulut sınıflandırmasının neden olduğu hata miktarı, kantitatif olarak nispeten küçük olmakla birlikte, bir kaç hatalı kar pikselinin, üretilen kar haritasında neden olacağı nitel hata görsel olarak büyük bir etkiye sahiptir.

İlk sonuçları verilen ve hâlen devam etmekte olan bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında yapılması planlananlar şu şekilde özetlenebilir:

- 2016-2017 kar sezonu için yapılan bu çalışmanın, ilerleyen aşamalarda 2017-2018 Türkiye kar sezonuna yönelik olarak Sentinel-2A ve 2B görüntülerinin birlikte kullanılmasıyla genişletilmesi düşünülmektedir.
- Ayrıca bu çalışmada verilen ve Sentinel-2A görüntülerinden ikili kar haritası üretilmesi için kullanılan algoritma (Hall vd., 1995) yoğun ormanlık olmayan alanlar için geliştirilmiştir. İlerleyen aşamalarda bu algoritmanın yoğun ormanlık alanlar için güncellenmiş versiyonu olan ve normalize fark vejetasyon indisi - normalized difference vegetation index (NDVI) ile NDSI değerlerinin birlikte kullanıldığı bir diğer algoritma (Hall vd., 1998) analizlerde kullanılarak sınıflandırma sonuçlarına etkisi incelenecektir.
- Ayrıca, 2017 yılının 2. çeyreğinden itibaren üretilmeye başlanan ve iki farklı mekânsal çözünürlükte (20 ve 60 m) görüntü sınıflandırması bilgisini de içeren Sentinel-2 Seviye 2A ürünü (Sentinel-2 Level 2A) (Louis, 2018) bulunan kar sınıflandırması ile yukarıda bahsi geçen diğer iki algoritma yoluyla elde edilen kar sınıflandırmaları performans bakımından karşılaştırılacaktır.

KAYNAKLAR

Akyürek, Z., Hall, D.K., Riggs, G.A. ve Sensoy, A., 2010. Evaluating the utility of the ANSA blended snow cover product in the mountains of eastern Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 31(14): 3727-3744.

Akyürek, Z. ve Şorman, A.Ü., 2002. Monitoring snow-covered areas using NOAA-AVHRR data in the eastern part of Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 47(2): 243-252.

Ataş, M., Tekeli, A.E., Dönmez, S. ve Fouli, H., 2016. Use of interactive multisensor snow and ice mapping system snow cover maps (IMS) and artificial neural networks for simulating river discharges in Eastern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2): 150.

Clark, M.P., Slater, A.G., Barrett, A.P., Hay, L.E., McCabe, G.J., Rajagopalan, B. ve Leavesley, G.H., 2006. Assimilation of snow covered area information into hydrologic and land-surface models. *Advances in Water Resources*, 29(8): 1209-1221.

Dobreva, I.D. ve Klein, A.G., 2011. Fractional snow cover mapping through artificial neural network analysis of MODIS surface reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 115(12): 3355-3366.

Doswell III, C.A., Davies-Jones, R. ve Keller, D.L., 1990. On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables. *Weather and forecasting*, 5(4): 576-585.

Gafurov, A. ve Bárdossy, A., 2009. Cloud removal methodology from MODIS snow cover product. *Hydrology and Earth Sytem Sciences*, 13: 1361-1373.

Hall, D., Foster, J., Verbyla, D., Klein, A. ve 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. ve Martinec, J., 1985. *Remote Sensing of Ice and Snow*. Chapman and Hall, USA.

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

Hosaka, M., Nohara, D. ve 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.

Hüsler, F., Jonas, T., Wunderle, S. ve 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.

Karnieli, A., Ben-Dor, E., Bayarjargal, Y. ve Lugasi, R., 2004. Radiometric saturation of Landsat-7 ETM+ data over the Negev Desert (Israel): problems and solutions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(3): 219-237.

Laternser, M. ve Schneebeli, M., 2003. Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology*, 23(7): 733-750.

Louis, J., 2018. Sentinel-2 S2 MPC L2A Product Definition Document. <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/S2+L2A+Product+Definition+Document/2c0f6d5f-60b5-48de-bc0d-e0f45ca06304> [Erişim tarihi: 25 Temmuz 2018].

Marty, C., 2008. Regime shift of snow days in Switzerland. *Geophysical Research Letters*, 35(12).

Salomonson, V.V. ve Appel, I., 2004. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of Environment*, 89: 351-360.

Salomonson, V.V. ve 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.

SNAP, 2018. ESA Toolbox ver. 6.0. <http://step.esa.int/main/> [Erişim tarihi: 10 Mayıs 2018].

Sürer, S. ve 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.

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

Vikhamar, D. ve Solberg, R., 2003. Snow-cover mapping in forests by constrained linear spectral unmixing of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 88(3): 309-323.

Zeng, C., Shen, H. ve Zhang, L., 2013. Recovering missing pixels for Landsat ETM+ SLC-off imagery using multi-temporal regression analysis and a regularization method. *Remote Sensing of Environment*, 131: 182-194.

Zhang, T., 2005. Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. *Reviews of Geophysics*, 43(4): 1-23.