SENTINEL-1 PolSAR ve SENTINEL-2 OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN FÜZYON ile SINIFLANDIRILMASI

Emine AÇIKSARI¹, Özgün AKÇAY², E. Özgür AVŞAR³

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı, 17100, Çanakkale, emine.aciksari@gmail.com

²Doç. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale, akcay@comu.edu.tr

³Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale, ozguravsar@comu.edu.tr

ÖZET

Uzaktan algılamada birçok uydu sensörü farklı zamansal, mekânsal ve spektral çözünürlüklerde görüntü elde etmektedir. Elektro-optik algılayıcıların algılama yapamadığı durumlar için günün her saatinde ve her türlü hava koşulunda çalışabilen Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri geliştirilmiştir. Optik veriler elektro optik sensörler yardımıyla spektral yoğunluk açısından, hedeflerin yansıtıcı özellikleri hakkında çeşitli bilgi sağlarken SAR sensör verileri, polarizasyon durumu ile nesnelerin geometrik yapısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik özellikleri hakkında detaylı bilgiler içerir. SAR sistemleri her türlü hava koşulunda, aktif olarak, gece ve gündüz yüzeyin geometrik ve elektriksel özelliklerini veren görüntüler sağlamaktadır. Optik uzaktan algılama verileri ise atmosferik koşullar hariç genel olarak haritalama doğruluğunu artırmaya yardımcıdır. Son on yılda, faz bilgisini muhafaza ederken birden fazla kutuplaşma durumunu ölçebilen Polarimetrik SAR (PolSAR) sensörleri geliştirilmiştir. Farklı dalga boylarında elde edilen uydu görüntülerinin, veri füzyonu yaklaşımıyla önemli bilgi çıkarımı sağladıkları çalışmalarla ortaya konulmuştur. Optik ve SAR veri setlerinin entegrasyonuna dayalı olan görüntü füzyonu, farklı arazi yüzeyi özelliklerinin yorumlanması, geliştirilmesi ve analizi için verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Çanakkale İlini kapsayan Sentinel-1A GRD mod VV+VH ikili PolSAR uydu görüntüleri ile Sentinel-2A optik uydu görüntüleri ve buna bağlı Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) verileri kullanılarak çeşitli kombinasyonlar oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlar için ayrı ayrı nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile arazi örtüsü sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Farklı dalga boylarında ve farklı bantlardaki uydu görüntülerinin entegrasyonu ile veri füzyon yaklaşımının arazi sınıflandırması doğruluğunu hangi boyutta etkilediği ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda optik, PolSAR ve NDVI veri füzyonunun sınıflandırmada % 87,9 genel doğruluk ve kappa değeri 0.84 elde edilmiştir. Sadece optik görüntü sınıflandırması ile de % 86,1 sınıflandırma doğruluğu sağlandı ve kappa değeri 0.80 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: ikili polarimetrik, SAR, optik, füzyon, sınıflandırma

ABSTRACT

CLASSIFICATION OF SENTINEL-1 PolSAR AND SENTINEL-2 OPTICAL SATELLITE IMAGES BY FUSION

In remote sensing, many satellite sensors acquire images in different temporal, spatial and spectral resolutions. Synthetic Aperture Radar (SAR) systems have been developed that can operate at all hours of the day and in all weather conditions for situations where electro-optic sensors cannot detect. Synthetic Aperture Radar (SAR) sensor data provides detailed information about the polarization state and the geometric structure of the objects, surface roughness and dielectric properties, while optical data provides various information about the reflective properties of the targets in terms of spectral density with the help of electro-optical sensors. SAR systems provide images that provide geometric and electrical properties of the surface, day and night, actively in all weather conditions. Optical remote sensing data, on the other hand, generally helps to improve the accuracy of mapping except atmospheric conditions. In the last decade, Polarimetric SAR (PolSAR) sensors have been developed that can detect multiple polarization states while maintaining phase information. It has been shown that satellite images obtained at different wave lengths provide important information extraction with data fusion approach. Image fusion based on integration of optical and SAR datasets is being used efficiently for the interpretation, development and analysis of different terrain features. In this study, Sentinel-1A GRD mod VV + VH dual PolSAR satellite images covering Çanakkale city and Sentinel-2A optical satellite images and related Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data were used to create various combinations. For these combinations, classification of land cover was performed by object-based classification method separately. The integration of satellite imagery in different wave lengths and in different bands has revealed the extent to which the fusion approach can affect the accuracy of land classification. As a result of the study, the optical, PolSAR and NDVI data fusion classifications yielded a general accuracy of 87.9% and a kappa value of 0.84. With optical image classification only, 86.1% classification accuracy was achieved while kappa value was calculated as 0.80.

Keywords: dual polarimetric, SAR, optical, fusion, classification

1. GİRİŞ

Optik sensörler, güneşten yayılan enerjiyi Dünya'nın yüzeyinden yansıtmak için kullanan pasif sensörlerdir (Campbell, 2006). Bu nedenle optik görüntü verisi gece veya zor hava koşullarında sağlanamamaktadır. Optik (multispektral) veriler, genellikle farklı mekânsal ve spektral çözünürlüğe sahip arazi örtüsü haritalaması için kullanılmaktadır. SAR sensörleri ise optik sistemlerden farklı olarak her türlü hava koşulunda, aktif olarak, gece ve gündüz yüzeyin geometrik ve elektriksel özelliklerini veren görüntüler sağlamaktadır. Bu sensörleri mikrodalgaları dikey ve yatay kutuplaşma ile hedefe gönderip hedeften geri saçılan dalgaların faz, polarizasyon ve yoğunluğunu ölçmektedir. Polarimetrik SAR çok kutuplu dört farklı banttan HH, VV, VH, HV oluşmaktadır ve bu kutuplaşma işleminin gerçekleşmesiyle sistemde gelen ile geri saçılan dalga arasındaki bilgi, yansıtıcı arazi objesi hakkında karakteristik bilgi vermektedir (Sakshaug 2013). SAR sensörü; eğim, pürüzlülük, nem ve dielektrik sabiti yüzeyin özelliklerine bağlı olan farklı hedeflerin geri saçılmış enerjisini kullanır. Bu etkenler SAR görüntülerinin kentsel alan, bitki örtüsü ve topoğrafya gibi çeşitli nesneler arasında ayırım yapmak için kullanılmasını sağlamaktadır (Gharechelou, 2015).

Çalışmalarda tek sensörlü görüntü verilerine güvenmek, işlevsel projeler için bazı risklere ve tutarsız bilgi eldesine neden olabilmektedir. (McNairn vd. 2009). Bu sınırlamaları aşmak için veri füzyon yani veri birleştirme yaklaşımı ele alınmıştır. Veri füzyonu elektromanyetik spektrumun farklı bantlarının ve farklı sensörlerin kullanılmasına izin vermektedir (Haack ve Bechdol 2000). SAR ve optik uzaktan algılama verilerinin de birlikte kullanımı ile tamamlayıcı bilgi çıkarımı sağlanabilmektedir. Genel olarak arazi örtüsü haritalama doğruluğunu artırmak için de her iki veri türünün füzyonundan yararlanılabilmektedir (Herold ve Haack, 2002; Bagan, Kinoshita ve Yamagata, 2012).

Cian vd. 2016'da birden fazla sel felaketinden etkilenen Kuzey Doğu İtalya'da optik ve PolSAR uydu verilerini kullanarak veri füzyonu gerçekleştirerek, afet risk denetimini ve çevresel değişimi incelemişlerdir. Veri füzyonu ile gerçekleştirilen sınıflandırmaların optik görüntü sınıflandırmalarına göre daha fazla doğrulukta olduğunu ve haritaları daha sık güncellemeye olanak tanıdığını ortaya koymuşlardır.

Sentinel 1 ve Sentinel 2 uydu verilerinin ortak kullanımı ve analizi için uydu verilerinin bir araya getirilmesiyle elde edilen bilginin getirdiği avantajları vurgulayan Popescu ve ark. 2016'da özellik seviyesi tabanlı veri füzyonu ile veri kümelerinin daha iyi bir şekilde karakterize edilmesini ve de çıkarılmış bilgilerin ortaklaşa kullanılarak arazi haritalaması çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamışlardır.

Bazı durumlarda, sadece uydu görüntüsü kullanılarak yeryüzü objeleri ayırt edilememekte ve hatalı sınıflandırma sonuçları oluşmaktadır. Görüntü verileri üzerindeki objelerin ayırt edilebilirliğini artırarak görüntü verileri ile birlikte yer yüzey karakteristikleri de sınıflandırma doğruluğunu artıran yardımcı veriler olarak kullanılmaktadır (Edenius vd., 2003; Wright ve Gallant, 2007). Bunlar arasında en sık kullanılanı, özellikle uydu görüntüsü üzerindeki bitki örtüsünün diğer arazi örtüsü tiplerinden ayırt edilmesine olanak sağlayan normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksidir (NDVI).

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} = \frac{(B8-B4)}{(B8+B4)} \quad (1)$$

Arazi örtüsü ve arazi kullanımı haritalama doğruluğunu artırmak için radar ve optik uzaktan algılama verilerinin füzyonunu sağlayan Clerici vd. 2017'de, dört farklı bitki örtüsü endekslerini de kullanarak destek vektör makinesi (SVM) kontrollü sınıflandırma algoritması ile %87 gibi sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir. Sentinel-1A ve Sentinel-2A uydu verileri ve bitki örtüsü indekslerinin füzyonu ile arazi örtüsü ve arazi kullanımı haritasını tatmin edici doğrulukta elde etmişlerdir.

Bu çalışmada optik ve PolSAR uydu görüntüleri ve yüzey bitki örtüsüne ait NDVI'nin birlikte kullanılarak doğru ve yüksek bilgi çıkarımının sağlanması ve arazi kullanımı ve arazi örtüsünün sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda Sentinel-1A ikili PolSAR ve Sentinel-2A optik uzaktan algılama verilerinin Çanakkale ilini kapsayan ortak alanları seçilerek, PolSAR+optik+NDVI, optik+NDVI veri füzyonu ile sadece optik görüntü bantları kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile arazi örtüsü sınıflandırması gerçekleştirilmiştir.

1.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Uydu Verilerinin Temin Edilmesi

Çalışma alanı olarak kentsel, kırsal gibi ve birçok farklı arazi karakterlerine sahip Çanakkale ili seçilmiştir. Çanakkale ilinin kıyı kesimlerindeki yoğun yerleşim dağılımı, %55 oranında yeşil alan ve yoğun tarım alanları şehrin temel özelliklerini oluşturmaktadır (Şekil 1). Çalışmada kullanılan Sentinel uyduları için veri dağıtımı, ürünlerinin birçoğu için eksiksiz ve açık bir erişim politikasının temel avantajı tarafından desteklenmektedir (Belward ve Skøien, 2015). Sentinel-1A ve Sentinel-2A görüntülerini birleştirebilmek ve uydu verilerindeki homojen geçişi sağlayabilmek için Mayıs 2018 tarihli görüntüler seçilmiştir. İkili polarimetrik Sentinel-1A ve optik

Sentinel-2A uydu verilerinin uyumu ile arazi kullanımının değerlendirilmesi açısından Çanakkale ilinin merkezini ve çevresini kapsayan Sentinel-1A (Ground Range Detected) GRD mod PolSAR ve Sentinel-2A optik uydu görüntüleri ESA'nın Copernicus Açık Erişim Merkezinden temin edilmiştir. GRD veri tipi, sistematik olarak dağıtılmış çoklu görünüm yoğunluğuna ve zemin aralığına yansıtılmış olduğu için tercih edilmiştir. Sentinel-1A ve Sentinel 2 uydu özellikleri Çizelge 1'de belirtilmiştir.

a) Sentinel-2 RGB görüntüsü çalışma alanı

b) Google Earth görüntüsü çalışma alanı

c) Çanakkale şehir merkezinin genel görünümü

Şekil 1. Çalışma alanı.

Çizelge 1. Sentinel-1A SAR uydu ve Sentinel-2A optik uydu özellikleri.

Özellikler	SENTINEL-1A (C Band)
Tarih	2014
Yükseklik	693 km
Sensör Modu	IW
Polarizasyon	VV+VH, HH+HV (ikili)
Dalga Boyu	5.5466 cm
Azimet	20 m
Uçuş Modu	Yükselen
Şerit Genişliği	250 km

Özellikler	SENTINEL-2A (Optik)
Tarih	2015
Yükseklik	786 km
Sensör Modu	MSI
Şerit Genişliği	290 km
Dalga Boyu	B2, B3, B4 ve B8 - 10 m
Radyometrik Çözünürlük	12 bit
Bantlar ve dalga boyları	B2 - Mavi - 0.490 μm B3 - Yeşil - 0.560 μm B4 - Kırmızı - 0.665 μm B8 - NIR - 0.842 μm

2. UYGULAMA

Çalışmada izlenen uygulama adımları, iş akış diyagramı şeklinde Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Çalışma metodu iş akış diyagramı.

2.1 Görüntü Ön İşleme

Sentinel-1A GRD mod PolSAR uydu verileri ve optik uydu verilerine bazı ön işlem adımları uygulanarak düzeltilmiştir ve veri füzyonuna hazırlanmıştır. Sentinel için geliştirilen SNAP (Sentinel Application Platform) program kullanılmıştır. PolSAR görüntülerinde araziye bağlı bozulmalar radyometrik kalibrasyon ile ortadan kaldırılmaktadır (Small vd. 1997). VV, VH mod PolSAR görüntüsüne radyometrik kalibrasyon ve aralıklı arazi düzeltmeleri uygulanmıştır. Optik uydu görüntüsü için de atmosferik düzeltmeler uygulanarak yüzey bitki örtüsüne ait NDVI hesaplanmıştır. Son olarak PolSAR uydu görüntüsü arazi düzeltmesi ile WGS84 UTM projeksiyonunda optik uydu görüntüsü ile aynı koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Ayrıca optik görüntülerdeki atmosferik etkiler giderilmiş ve geometrik düzeltmeler ile uydu verileri füzyon için hazırlanmıştır.

2.2 Optik ve SAR Görüntülerinin Birleştirilmesi

Veri füzyonu yöntemi için katman yığınları oluşturulmuştur. Yığınlar oluşturulurken optik raster çözünürlüğüne bağlı yeniden örnekleme gerçekleştirilmiştir. Birinci yığında optik görüntüye ait B2,B3,B4 ve B8 bantları, PolSAR görüntülerine ait VH ve VV bantları ile NDVI çıktıları kullanılmıştır. İkinci yığında sadece optik veri bantları ile NDVI verileri ile katman yığını elde edilmiştir. Son yığın içinse sadece optik görüntü bantları kullanılmak üzere toplamda üç farklı veri kombinasyonu elde edilmiştir.

2.3 Nesne Tabanlı Sınıflandırma

2.3.1 Segmentasyon

Görüntü verilerinin ön işlem adımlarının ardından eCognition yazılımında PolSAR optik görüntü bantları ve NDVI görüntüleri açılmış, koordinat sistemleri aynı duruma getirilen bu veriler ile üst üste çakıştırılmış katman grupları oluşturulmuştur. Her bir veri kombinasyonu için, nesne tabanlı sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Nesne tabanlı sınıflandırmalarda ilk ve en önemli adımlardan biri olan (Gamanya, De Maeyer ve De Dapper 2007) segmentasyon bölütleme işlemi, veri kombinasyonlarından anlamlı görüntü nesneleri oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon parametrelerinin seçimi, gerçek arazi objesine uygun nesne boyutunun belirlenmesi açısından büyük öneme sahiptir. Segmentasyon kalitesinin analizi yüksek doğruluklu sınıflandırma için ön koşuldur. (Kim vd., 2009; Marpu vd., 2010). Segmentasyonda seçilen parametreler sonuç doğruluk üzerinde etkili olduğundan çalışılan bölge ile uyumlu parametrelerin ve değerlerinin belirlenmesi önemlidir (Drăguț vd., 2010). Ölçek, şekil ve kompaktlık indeksi gibi segmentasyon parametreleri bu aşamada belirlenmiştir. Segmentasyonda ölçek parametresi nesne boyutunu belirleyen en önemli parametredir (Kim vd., 2011; Myint vd., 2011). Sınıflandırma için ölçek faktörü görüntülerin çok yüksek çözünürlüklü olmaması nedeni ile 10 seçildi. Şekil faktörü için 0,1 değeri, kompaktlık indeksi için de 0,5 seçilerek nesnelerin daha yoğun şekilde elde edilmesi amaçlanmıştır. Veri kombinasyonu segmentasyonları tamamlanmıştır (Şekil 2).

a) Optik+PolSAR+NDVI

b) Optik+NDVI

c)Optik (B2+B3+B4+B8)

Şekil 2. Çalışma bölgesi veri kombinasyonlarına ait katman yığınları segmentasyon görüntüleri.

2.3.2 Eğitimli Sınıflandırma

eCognition yazılımında her katman için oluşturulan segmentler üzerinden sınıf hiyerarşisine göre alınan örneklere dayanan en yakın komşuluk (nearest neighbour) sınıflandırma algoritması ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem temelinde kontrollü sınıflandırma algoritmasına benzemektedir; piksel tabanlı sınıflandırmada alınan örnekleme alanları gibi, nesne tabanlı sınıflandırmada da her sınıf için örnek segmentler seçilmiştir. Sınıflandırmada birim olarak pikseller yerine segmentlerin kullanılması en yakın komşuluk algoritmasında işlemlerin daha hızlı biçimde ilerlemesini sağlamaktadır (Jensen, 2005). Bu işlem, nesne tabanlı yöntemde daha hızlı ve daha doğru bir şekilde yapılmaktadır. Böylece her sınıf için seçilen örneklerin ortalama değerleri kullanılarak eCognition yazılımı en yakın komşuluk yöntemiyle tüm görüntü üzerinde ortak özelliklere sahip segmentleri bularak sınıflandırma işlemi tamamlanmıştır. Her kombinasyon yığın görüntüsü için yapı, su, yeşil alan, çıplak toprak ve yol şeklinde beş farklı arazi örtüsü sınıfı belirlenmiştir. Her sınıf için belirli eğitim alanları seçilmiş ve eğitimli sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

a) Çalışma alanı optik uydu görüntüsü

b) Optik+PolSAR+NDVI

c) Optik+NDVI

d) Optik (B2+B3+B4+B8)

Şekil 3. Veri kombinasyonlarına ait katman yığınları eğitilmiş sınıflandırma sonuç görüntüleri.

Yapı	Su	Yeşil	Çılak Toprak	Yol
------	----	-------	--------------	-----

eCognition yazılımı sınıflandırma sonuçlarına bağlı olarak kullanıcıları için istatistiksel bilgiler üretmektedir. İstatistiksel bilgilerin bulunduğu tablo önemlidir çünkü farklı doğruluk değerlerine ek olarak hata matrisini de göstermektedir. Bu çalışmada sınıflandırma sonucu her veri kombinasyonu için hata matrisi hesaplanmıştır (Çizelge 3,4,5).

Çizelge 3. Optik + PolSAR + NDVI füzyon sınıflandırma sonucu hata matrisi.

HATA MATRİSİ	Yapı	Su	Yeşil Alan	Çılak Toprak	Yol	TOPLAM
Yapı	52	0	0	3	3	58
Su	0	13	0	0	0	13
Yeşil Alan	0	0	48	0	0	48
Çılak Toprak	3	0	0	15	1	19
Yol	7	0	0	4	40	51
Sınıflandırılmamış	1	0	1	0	0	2
TOPLAM	63	13	49	22	44	

Çizelge 4. Optik + PolSAR füzyon sınıflandırma sonucu hata matrisi.

HATA MATRİSİ	Yapı	Su	Yeşil Alan	Çıplak Toprak	Yol	TOPLAM
Yapı	92	0	0	5	10	107
Su	0	11	0	0	0	11
Yeşil Alan	0	0	49	0	0	49
Çıplak Toprak	7	0	0	15	0	22
Yol	14	0	0	0	88	102
Sınıflandırılmamış	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	113	11	49	20	98	

Çizelge 5. Optik sınıflandırma sonucu hata matrisi.

HATA MATRİSİ	Yapı	Su	Yeşil Alan	Çıplak Toprak	Yol	TOPLAM
Yapı	106	0	0	2	14	122
Su	0	15	0	0	0	15
Yeşil Alan	0	0	68	0	0	68
Çıplak Toprak	14	0	0	30	0	44
Yol	26	0	0	1	136	163
Sınıflandırılmamış	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	146	15	68	33	150	

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada optik ve SAR sensör verilerinin ve yüzey vejetasyon indekslerinin füzyon kombinasyonları ile sınıflandırma sonuçları sunulmaktadır. Sentinel-1A PolSAR ve Sentinel-2A optik uydu görüntü verileri ile optik uydu verilerinden elde edilen, yüzey bitki örtüsü indeksi gibi yardımcı verilerin birlikte kullanımı ile sınıflandırma sonucunun daha yüksek doğruluk verdiği tespit edilmiştir. Bitki örtüsü indeks değerlerinin de optik veriler ile kullanılarak sınıflandırmaya belirli oranda katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda sonuç çıktıları değerlendirildiğinde, SAR uydu görüntülerinin belirli miktarlarda sınıflandırma doğruluğunu artırıcı yönde etki sağladığı görülmüştür (Çizelge 6). Çalışmanın devamı niteliğinde çok zamanlı, ileriye dönük ikili ve dörtlü polarimetrik uydu görüntüleri ile farklı spektral bandlardaki optik uydu verilerinin ve yüzeye ait çeşitli indeks özelliklerinin farklı füzyon teknikleri uygulanarak, sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Bu sayede füzyon tekniklerinin sınıflandırma doğruluğunu ne boyutta ve hangi şekilde etkileyecekleri ortaya koyulacaktır.

Çizelge 6. Sınıflandırma sonucu doğruluk analizi.

Veri Setleri					
Optik+PolSAR+NDVI		Optik +NDVI		Optik (B2+B3+B4+B8)	
Genel Doğruluk	Kappa	Genel Doğruluk	Kappa	Genel Doğruluk	Kappa
0.88	0.84	0.87	0.82	0.86	0.80

KAYNAKLAR

- Bagan H., Kinoshita T., Yamagata Y.** 2012, Combination of AVNIR-2, PALSAR, and polarimetric parameters for land cover classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(4), 1318-1328.
- Belward A. S., & Skoien J. O.** 2015, Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 115-128.
- Cian F., Delgado J. M., Marconcini M., Rivolta G., & Giupponi C.** 2016, May, Sentinel-1 and 2 data fusion for land management and disaster risk assessment. *ESA Living Planet Symposium*.
- Clerici N., Valbuena Calderón C. A., & Posada J. M.** 2017, Fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: a case study in the lower Magdalena region, Colombia. *Journal of Maps*, 13(2), 718-726.
- Drăguț L., Tiede D. & Levick S.,** 2010, ESP: a tool to estimate scale parameters for multiresolution image segmentation of remotely sensed data, *International Journal of Geographical Information Science*, 24: 859-871.

Edenius L., Vencatasawmy C.P., Sandstrom P., & Dahlberg U., 2003, Combining satellite imagery and ancillary data to map snowbed vegetation important to reindeer Rangifer tarandus. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 35(2), 150-157.

Gamanya R., De Maeyer P., & De Dapper M. 2007, An automated satellite image classification design using object-oriented segmentation algorithms: A move towards standardization. *Expert Systems with Applications*, 32(2), 616-624.

GHARECHELOU S. 2015, *Soil moisture retrieval using synthetic aperture radar (SAR) data* (Doctoral dissertation).

Haack B., & Bechdol M. 2000, Integrating multisensor data and RADAR texture measures for land cover mapping. *Computers and Geosciences*, 26(4), 411-421.

Herold N. D., & Haack B. N. 2002, Fusion of radar and optical data for land cover mapping. *Geocarto International*, 17(2), 21-30.

Kim M., Madden M., & Warner T. A. 2009, Forest type mapping using object-specific texture measures from multispectral Ikonos imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(7), 819-829.

Kim M., Warner T. A., Madden M., & Atkinson D. S. 2011, Multi-scale GEOBIA with very high spatial resolution digital aerial imagery: scale, texture and image objects. *International Journal of Remote Sensing*, 32(10), 2825-2850.

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.

Marpu P. R., Neubert M., Herold H., & Niemeyer I. 2010, Enhanced evaluation of image segmentation results. *Journal of spatial science*, 55(1), 55-68.

McNairn H., Champagne C., Shang J., Holmstrom D., & Reichert G. 2009, Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(5), 434-449.

POPESCU A., FAUR D., VADUVA C., & DATCU M. 2016, May, Enhanced Classification of Land Cover through Joint Analysis of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data. In *ESA Living Planet Symposium*. Prague, Czech Republic, 9-13.

Sakshaug S. E. H. 2013, Evaluation of Polarimetric SAR Decomposition methods for tropical forest analysis, *Master's thesis*, University of Tromsø.