

İkili PolSAR Görüntülerinin Çok Zamanlı Ayırma ve Kontrolsüz Sınıflandırma Analizi

Emine Açıksarı^{1*}, Özgün Akçay²

¹⁻²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

25.04.2018 Geliş/Received, 03.10.2018 Kabul/Accepted

Özet

Sentetik açıklıklı radarın (SAR) güçlü bir yer gözlem aracı olduğu artık ispatlanmıştır. Son on yılda, faz bilgisini muhafaza ederken birden fazla kutuplaşma durumunu ölçebilen SAR sensörleri geliştirilmiştir. Polarimetrik SAR (PolSAR) adı verilen sistemler hem dikey hem de yatay polarizasyonlu mikrodalga sinyalleri göndermekte ve almaktadır. Optik veriler elektro-optik sensörler yardımıyla spektral yoğunluk açısından, hedeflerin yansıtıcı ve dağıtıcı özellikleri hakkında çeşitli bilgi sağlarken SAR verileri, polarizasyon durumu ile doğal ve insan yapımı nesnelerin geometrik yapısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik özellikleri hakkında detaylı bilgiler içerir. Bu çalışmada C-band Sentinel-1A uydusunun ikili polarimetrik çok zamanlı uydu görüntülerinden dilim birleştirme ile üretilen polarimetrik görüntülerin sınıflandırılmasında, polarimetrik ayırma analizinin uygulama kolaylığı ve polarimetrik imzaların yorumlanabilirliği nedeni ile kontrolsüz sınıflandırma yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında, daha önce (Single Look Complex) SLC mod ikili polarimetrik görüntüler kullanılarak PolSAR sınıflandırması ile test edilmemiş bölgede, çalışma alanına ait Sentinel-1A uydusu 2014 ve 2018 yılları ikili polarimetrik çok zamanlı SAR görüntüleri kullanılarak belirtilen hedef ve yöntemlerle, PolSAR görüntülerine H-alfa ayırma algoritması uygulanarak polarimetrik parametreler yorumlanmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma ile çalışma alanındaki değişimlerin ortaya konulması ve görsel analizi sağlanmıştır. Sınıflandırma sonucunda genel sınıflandırma doğrulukları, 2014 yılı için % 88,5 ve 2018 yılı için %89,0 olarak hesaplanmıştır. 2014 ve 2018 yılları için kentsel ve kırsal alandaki arazi değişimleri belirlenmiştir. Çalışma, arazi kullanımı arazi örtüsü sınıflandırması için ikili polarimetrik C-band SAR verilerinin yeteneklerini incelemeyi de amaç edinmiştir. Ayrıca çalışmanın devamı niteliğinde, farklı bantta çalışan dörtlü polarimetrik SAR ve optik görüntülerin birlikte kullanımının sınıflandırma analizine etkisi araştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: ikili polarimetrik, SAR, çok zamanlı, kontrolsüz, sınıflandırma

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Emine Açıksarı
(e-posta: emine.aciksari@gmail.com)

Bu makale Emine Açıksarı'nın tez konusu kapsamında yazılmıştır.

Multitemporal Decomposition and Unsupervised Classification Analysis of Dual PolSAR Images

Abstract

Synthetic aperture radar (SAR) is now proven to be a powerful ground monitoring tool. Over the last decade, SAR sensors have been developed that can detect multiple polarization states while maintaining phase information. These systems, called Polarimetric SAR (PolSAR), transmit and receive both vertically and horizontally polarized microwave signals. Optical data provides various information about the reflectance characteristics of targets with respect to spectral density with the help of electro-optical sensors, SAR data includes detailed information about polarization state and geometrical structure of natural and artificial objects, surface roughness and dielectric properties. In this study, the classification of polarimetric images produced by slice assembling from dual polarimetric multitemporal satellite images of C-band Sentinel-1A fit was preferred for ease of application of polarimetric decomposition analysis and unsupervised classification method due to the interpretability of polarimetric signatures. Within the scope of the study, we used PolSAR methods by applying the H-alpha decomposition algorithm to PolSAR images using the (Single Look Complex) SLC mode dual polarimetric images and the targets and methods using Sentinel-1A satellites 2014 and 2018 dual polarimetric multitemporal SAR images of the in the previously not tested region with the PolSAR classification. And also, polarimetric parameters are interpreted. Unsupervised classification was carried out to reveal changes in the field of work and to provide visual analysis. The overall classification accuracy as a result of classification is calculated as 88.5% for 2014 and 89.0% for 2018. Land changes in the urban and rural areas for 2014 and 2018 have been identified. The study also aimed to examine the capabilities of dual polarimetric C-band SAR data for terrestrial land cover classification. In the future study the effect of quad polarimetric SAR and optical images used in different bands according on classification analysis will be investigated.

Keywords: dual polarimetric, SAR, multitemporal, unsupervised, classification

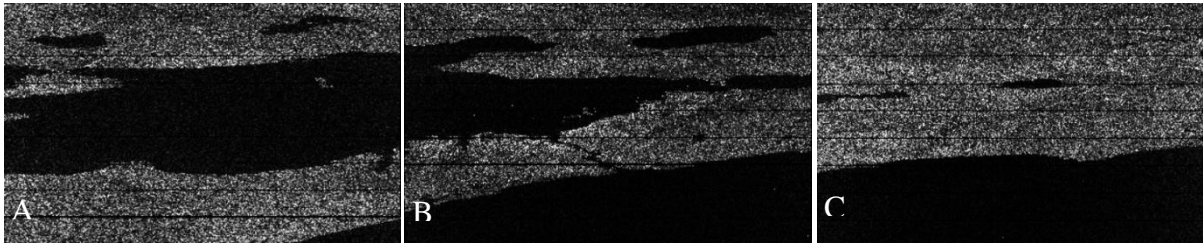
1.Giriş

Sentetik açıklıklı radar sensörleri, elektro-optik algılayıcıların yeterli düzeyde algılama yapamadığı bulutlu hava koşulunda, gece ve gündüz aktif olarak çalışabilen, yüzeyin geometrik ve elektriksel özelliklerini veren sensörler olarak geliştirilmiştir. Bu sistemlerde iletilen sinyal ve alınan yankı belirli yönlere yönlendirilebilir, bu kutuplaşma olarak isimlendirilir. Sentetik açıklıklı radar sensörleri yüksek zamansal ve mekânsal kapsama alanına sahip geniş bir küresel perspektif sunmaktadır (Dickinson ve ark., 2013). Sentetik açıklıklı radar, orman haritalarının üretilmesinden (Karjalainen ve ark., 2012) çalıların tanımlanması ve karakterize edilmesine (Betbeder ve ark., 2014) kadar birçok uygulamada başarıyla kullanılmıştır. Faz bilgisini muhafaza ederken birden fazla kutuplaşma durumunu ölçebilen PolSAR sistemleri, 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 arasında, SAR sisteminin dalga boyuna bağlı olarak, yapısal bilgi, yakın yüzey koşulları ve yansıtıcı arazi objesi hakkında karakteristik bilgi sağlanmaktadır (Sakshaug, 2013).

Polarizasyon karmaşıklığı seviyesine göre, SAR sistemleri iletilen ve alınan tek polarizasyon durumu için HH, VV, HV veya VH tek polarizasyon görüntüleri, yatay veya dikey polarizasyon dalgaları iletilen ve her iki polarizasyonda sinyaller alınan (HH ve HV, VV ve VH veya HH ve VV) ikili polarizasyon görüntüleri, ve de H ve V polarize iletimi arasında alternatif dalga formları, hem H hem de V sinyalleri alan (HH, HV, VH ve VV) dört kutuplu tam polarizasyon görüntüleri şeklinde üç sınıfa ayrılır. Polarimetrik SAR verileri, farklı saçılma süreçlerini analiz etmek ve görüntü sınıflandırması için kullanışlıdır (Olivie J. D., 2015). Polarimetrik sentetik açıklıklı radarda her kutuplaşma kombinasyonları, belirli arazi örtüsü ve arazi kullanımı haritalaması için kullanılmaktadır. Polarimetrik sentetik açıklıklı radar çoğunlukla arazi örtüsü ve arazi kullanımının belirlenmesinde tek polarize SAR'dan daha yüksek doğrulukta sonuçlanmaktadır (Chen ve ark.,1996; Da CostaFreitas ve ark., 2008; Li ve ark., 2012).

Sentetik açıklıklı radar verilerine dayanan kentsel arazi haritalama çalışmaları ile son zamanlarda alıcıların gelişmesine bağlı olarak daha iyi sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Bu çalışmalar çoğunlukla kentsel arazi örtüsü tanımlaması için tek frekanslı ve tek kutuplu verileri kullanmıştır. Bununla birlikte, tek frekanslı ve tek polarizasyon SAR verilerinden elde edilen sınırlı bilgiler sınırlı sınıflandırma doğruluğuna yol açar (Aschbacher, 1995; Li ve Yeh A.G.2004).Sınıflandırma doğruluğunu iyileştirmek için, çok zamanlı, çok kutuplu ve çok frekanslı SAR verisine dayalı birçok kentsel arazi örtüsü tanımlama çalışmaları yapılmıştır. Park ve arkadaşları, 2008'de, arazi örtüsü sınıflandırması için çoklu zamansal polarizasyonlu C-bandı SAR verisini kullanmış ve çok polarizasyonSAR verilerinin sınıflandırma doğruluğunu iyileştirebileceğini bulmuştur. Dell Acqua ve arkadaşları, 1996-2004 yıllarında, kentsel arazi örtüsü tanımlaması için ERS-1/2 görüntülerini kullanmış ve çoklu zamansal ve çok açılı SAR verilerinin daha iyi sınıflandırma sonuçları üretebildiğini bulmuştur.

Bu çalışmada, tam polarize SAR dan 250 km gibi çok daha geniş bir alana sahip olan, 5×20 m mekansal çözünürlüklü ikili polarimetrik C-band Single Look Complex (SLC) Interferometric Wide (IW) Swath Sentinel-1A PolSAR uydu görüntülerinin IW2 alt dilimi kullanılmıştır (Şekil 1.1). Yapılan analizde 2014 ve 2018 yıllarına ait aynı alan alt dilimini kapsayan (IW2), ikisi aynı yörüngede olmak üzere her yıl için üçer görüntünün birleştirilmesi ile elde edilen iyileştirilmiş polarimetrik görüntüler kullanılmıştır. Her veri seti için polarimetrik ayrışma ile polarimetrik entropi, alfa parametrelerinin analizi ve ikili polarimetrik H Alfa Wishart kontrolsüz sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırılan görüntülerin kontrolsüz sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizleri ve yıllara göre alan kullanımı değişimleri incelenmiştir.



A) IW1 görüntü dilimi B) IW2 görüntü dilimi C) IW3 görüntü dilimi
Şekil 1.1. Sentinel-1A uydu görüntüsü SLC IW alt modlarının gösterimi

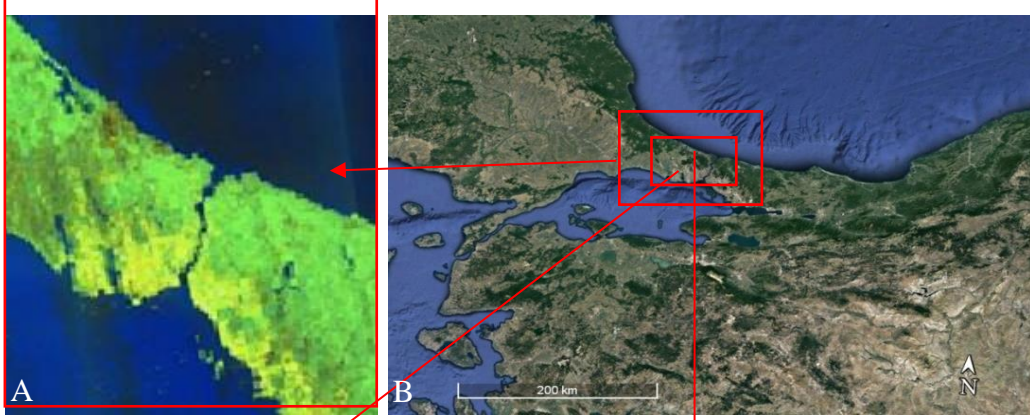
Bu makalenin ikinci bölümünde, çalışma alanı, kullanılan veri setleri, PolSAR görüntülerinin ön işleme adımları, polarimetrik ayrışma algoritması ve zamana bağlı uygulanan sınıflandırma yöntemleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde sınıflandırma sonucu elde edilen bulgular

paylaşılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Son bölümde ise ikili polarimetrik SAR görüntülerinin geleceğe yönelik kullanımına ilişkin öneriler sunulmuştur.

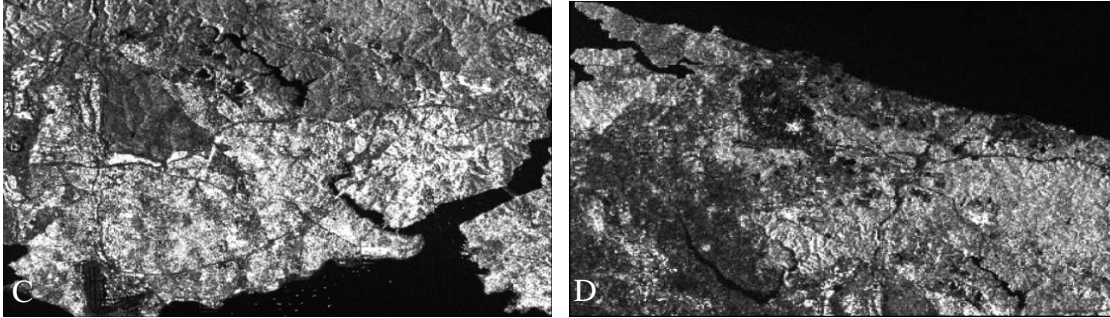
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Veri Setleri

Çalışma alanı olarak Şekil 2.1’de gösterilen Marmara Bölgesi’nde, İstanbul’un çoğunlukta Avrupa kıtasını kapsayan kentsel ve arazi durumları gözlemlenebilen alan seçilmiştir.



A) Google Earth çalışma alanı B) Sentinel -1A uydu görüntüsü genel



C) Kentsel karakterde seçilen çalışma alanı D) Kırsal karakterde seçilen çalışma alanı
Şekil 2.1. Çalışma alanı genel ve kesit görüntüleri

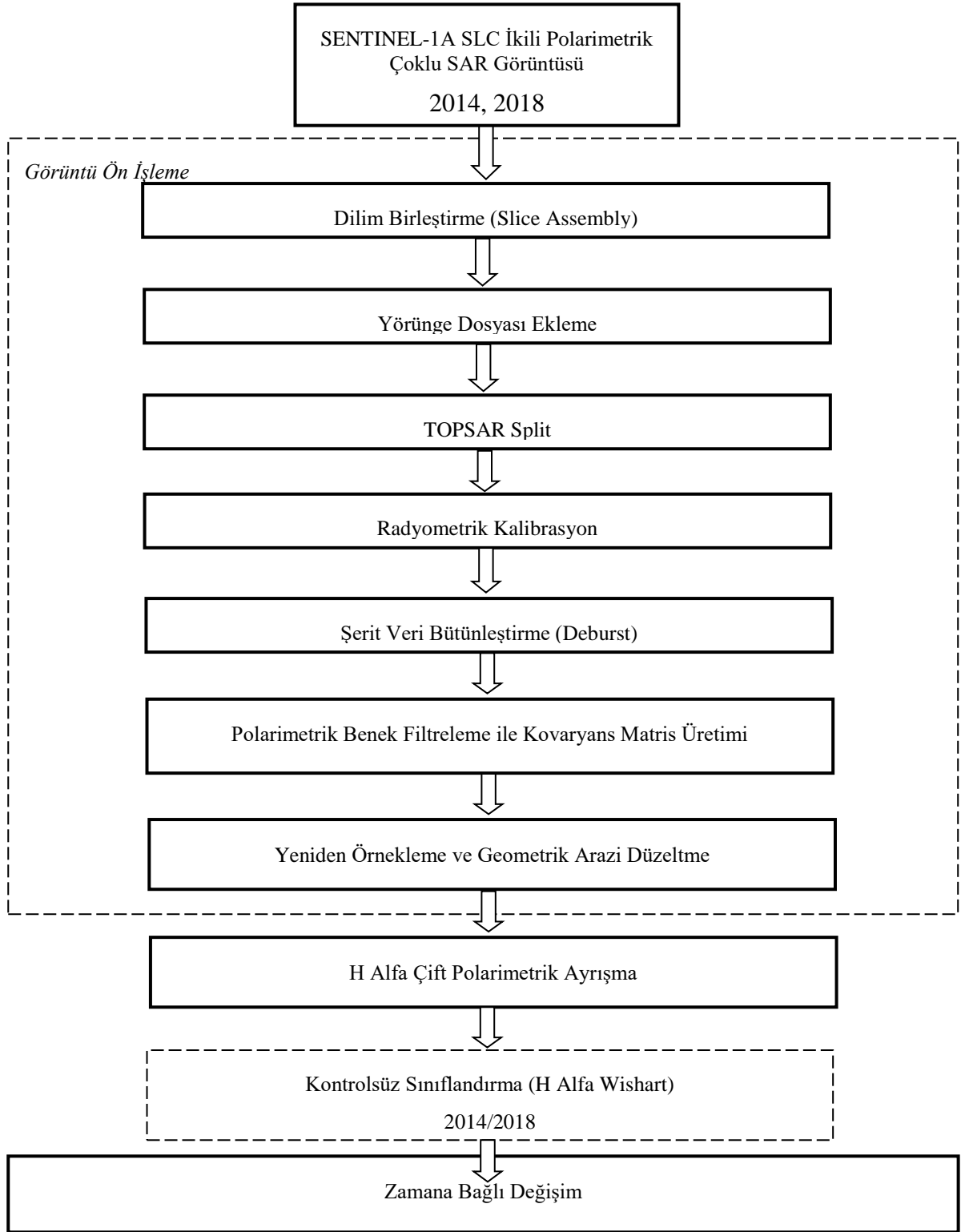
Bu çalışmada kullanılan uydu görüntüleri C band SENTINEL-1A ikili polarimetrik 2014 ve 2018 yıllarına ait görüntülerdir. Çalışmada kullanılan Sentinel-1A uydu özellikleri Çizelge 2.1’de belirtilmiştir ve bu uyduya ait Çizelge 2.2’de tarihleri belirtilen 9 görüntü verisi temin edilmiştir. Şekil 2.2’de ise çalışmada izlenen uygulama adımları, iş akış diyagramı şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Sentinel-1A SAR uydu özellikleri

SENTINEL-1A (C band)	
Parametreler	Interferometrik Mod (IW)
Faaliyet Başlangıcı	2014
Yükseklik	693 km
Tekrar Süresi	12 gün
Polarizasyon	İkili
Off-Nadir Açısı	31
Şerit Genişliği	250 km
Zemin Çözünürlüğü	5 m
Azimut Çözünürlüğü	20 m

Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılan Sentinel-1A SAR uydu görüntüleri

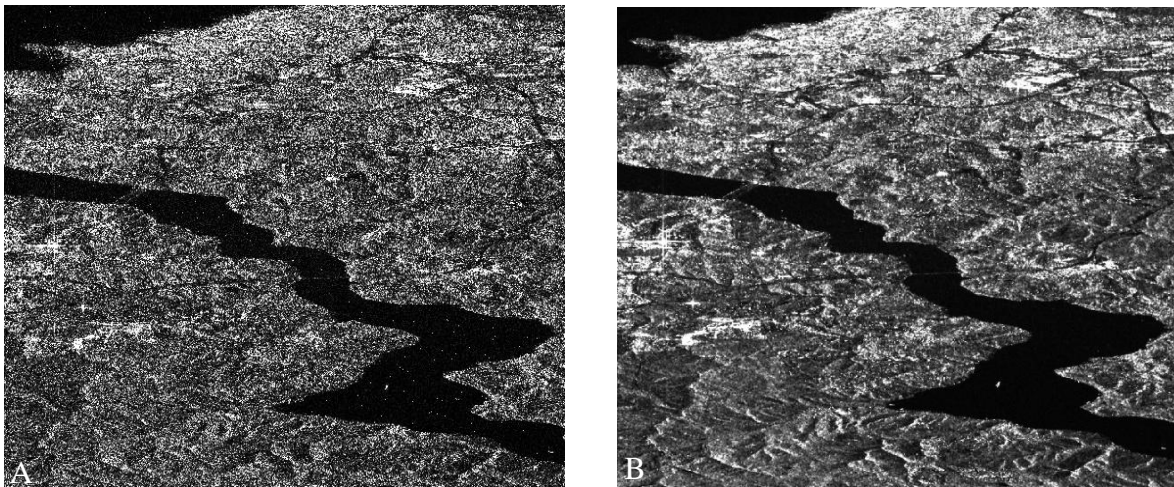
Sentinel-1A 2014 Görüntüleri	Sentinel-1A 2018 Görüntüleri	Ürün	Sensör Modu	Polarizasyon
10.09.2014	09.01.2018	SLC	IW	VV+VH
27.10.2014	21.01.2018			
14.12.2014	14.02.2018			



Şekil 2.2. Çalışma metodu iş akış diyagramı

2.2.PolSAR Görüntülerinin Ön İşlemesi

Sentinel-1A uydu verilerine sınıflandırmada kullanılmak amacıyla, sınıflandırma öncesinde Sentinel için geliştirilen SNAP (Sentinel Application Platform) programında bazı ön işlem adımları uygulanmıştır. Çalışmada aynı yıllara ait ortak alan ve ortak dilimde bulunan görüntüler dilim birleştirme ile birleştirilmiştir. İndirilen ham verilerde sınıflandırılacak alanın ızgara aralığı seçilerek ayırma (split) uygulanmıştır. Ardından bir SAR ürününün meta verilerinden sağlanan yörünge durum vektörlerinin güncellenmesi yörünge dosyası eklenerek gerçekleştirilmiştir. Polarimetrik SAR görüntülerinde araziye bağlı bozulmalar radyometrik düzeltmeler ile ortadan kaldırılmaktadır (Small ve ark.,1997). Kalibrasyon aşamasının ardından dilim verinin patlatılarak bütünleştirilmesi işlemleri (deburst) ile çalışma alanı hazırlanmıştır. Sentetik Açıklıklı Radar polarimetresi açısından, her polarizasyon kanalındaki geri saçılan dalganın tepkileri, saçılma matrisi biçiminde saklanmaktadır (Verma, 2012). Tüm polarimetrik yazılım araçları, girdi olarak koherens veya kovaryans matrisleri ile çalışmaktadır. İkili polarimetrik görüntülerde de 2×2 lik polarimetrik kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Benek etkisi, farklı göndericiler tarafından darbenin yapıcı ve yıkıcı etkileşiminden kaynaklanan gürültü etkisini ifade etmektedir (Mc Candless ve ark., 2004). SAR görüntüleri, saçılma sinyalinin tutarlı bir şekilde işlenmesi yoluyla üretildiğinden (Chen ve ark., 1996), geleneksel sensörlere oranla benek gürültüsüne karşı daha hassastır. Benek gürültüsü hem bölümlenmeyi hem de sınıflandırma doğruluğunu düşürmektedir (Foucher ve ark., 2001; Lee ve ark.,1999). Sentetik Açıklıklı Radar görüntüleri lekeleri çıkarmak için bir ön filtreleme adımı gerektirmektedir (Cloude ve Pottier, 1996; Ferro-Famil ve ark., 2001). Bu filtreleme, bilgi çıkarılmadan önce uygulanmaktadır (Lee ve ark., 2009) ve arazi örtücü sınıflamaların doğruluğunu olumlu etkilemektedir (Lee ve ark., 2006).Çalışma kapsamındaki PolSAR görüntüleri üzerinde denenen IDAN, Box Car ve Refined Lee filtrelerine göre daha güçlü gürültü giderici etki ve netlik sağladığı için polarimetrik Improved Lee Sigma filtresi uygulanmıştır.Kullanılan programda seçilebilecek en düşük pencere boyutu 5×5 tir. Çalışma alanı için en iyi gürültü giderici etki ve netlik (7×7) pencere büyüklüğü ile sağlandığı için Improved Lee Sigma filtresinin pencere boyutu (7×7) olarak belirlenmiştir. Improved Lee Sigma filtresinin PolSAR görüntüsüne sağladığı gürültü giderici etkiye netlik Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



A) Spektral filtre uygulanmamış kesit görüntü B) Improved Lee Sigma 7×7 polarimetrik filtre uygulanmış kesit görüntü

Şekil 2.3.Spektral filtre uygulanan ve uygulanmayan Sentinel-1A verilerinin karşılaştırılması

2.3. H-Alfa İkili Polarimetrik Ayırışma

Polarimetrik ayırışma, radar tarafından alınan sinyali bir araya getiren bir tekniktir. Arazi örtüsü arazi kullanımı sınıflandırmasında farklı polarimetrik ayırışma algoritmaları başarıyla kullanılmaktadır. Polarimetrik sınıflandırma, polarimetrik özelliklerini tanımlayan iki polarimetrik parametreye dayanmaktadır. Bu parametreler, H saçılma rastgeleliği (entropi) ve α saçılma mekanizması(alfa açısı)dır.

Bu çalışmada H-alfa ikili polarimetrik ayırışma algoritması test edilmiştir. Polarimetrik SAR görüntüsünün entropi, alfa sınıflandırma grafiği Cloude Pottier tarafından 1997'de önerilmiştir. Cloude ve Pottier(1997), H- α düzleminde kontrolsüz şekilde polarimetrik saçılma mekanizmalarını tanımlamak için bir algoritma önermiştir. Bu algoritmaya göre de entropi, anizotropi polarimetrik parametreleri, alfa ve beta açıları tanımlamışlardır (Ouarzeddine ve ark., 2005).

Polarimetrik ayırışma temel olarak radar hedeflerinin veya zemin yüzey objelerinin elektromanyetik enerjiyi nasıl dağıttığını açıklayan saçılma matrisine dayanmaktadır (1). Her bir piksel için boyutu (2×2) olan bu saçılım matrisi oluşturulmaktadır.

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

C3'ün, dörtlü polarimetrik durumu (2), S_{HV}, S_{VH} 'nin dört kombinasyonunun tümü ile açıklanır.

$$C_3 = \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & \sqrt{2}S_{HH}S_X^* & S_{HH}S_{VV}^* \\ \sqrt{2}S_X S_{HH}^* & 2|S_X|^2 & \sqrt{2}S_X S_{VV}^* \\ S_{VV}S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{VV}S_X^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Polarize ikili polarimetrik SAR verisine (VV ve VH) dayanmaktadır. Bu durumda kovaryans matrisi C3 ten C2'ye dönüşmektedir (3).

$$C_2 = \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & S_{HH}S_{VV}^* \\ S_{VV}S_{HH}^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Anizotropi / entropi / alfa (A / H / α) ayırışması, C3 veya C2'nin λ_1, λ_2 ve λ_3 öz değerlerine dayanmaktadır.

α_m , baskın saçılımın geri saçılma türünü ve ikinci baskın olanın geri saçılma türünü tarif eden (4), α_1 ve α_2 'nin ortalamasını temsil etmektedir.

$$\alpha_m = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} * [\lambda_1 \quad \lambda_2] * \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

İkinci parametre, H (entropi), saçılmanın heterojenliğini temsil etmektedir (5). H, saf bir hedef (örneğin, bir köşe reflektörü gibi bir dominant saçıcı biri gösteren, 0 ile, dağılım mekanizmalarının (orman alanları) rastgele bir karışımını temsil eden 1 arasındadır.

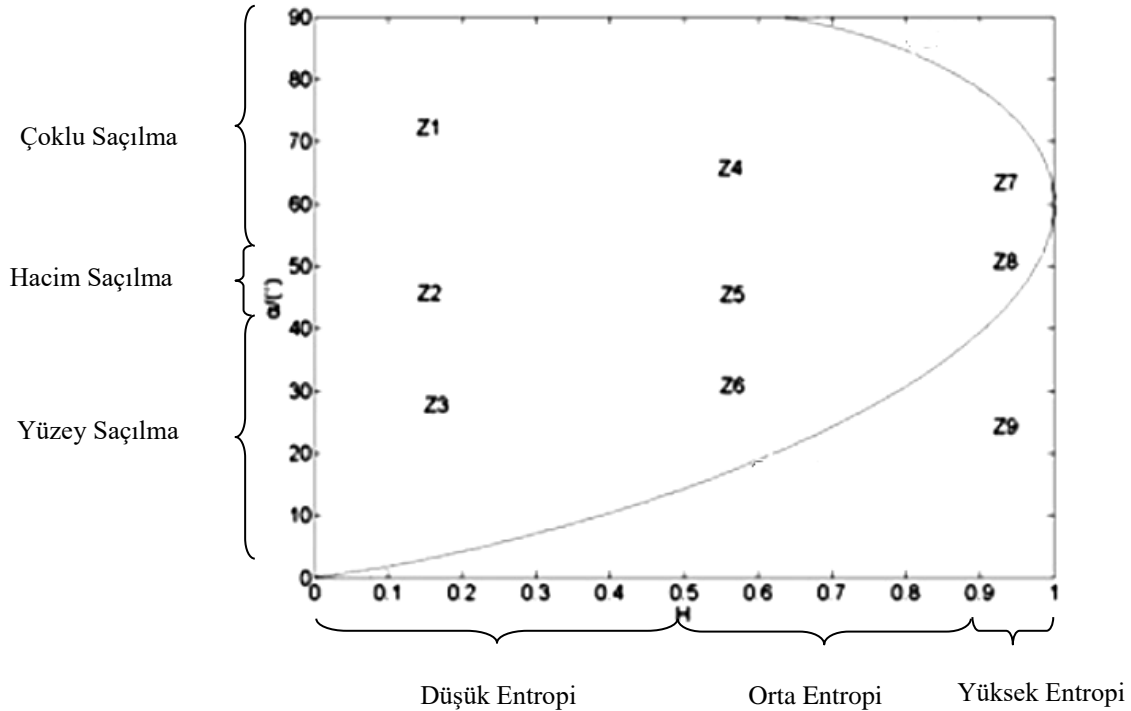
$$H = \frac{-1}{\lambda_1 + \lambda_2} * [\lambda_1 \quad \lambda_2] * \log_2 \left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} * \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} \right) \quad (5)$$

Bu iki sınır arasındaki değerler, bazı difüzyon olaylarının gerçekleştiğini göstermektedir. Okyanuslar ve yüzeyler hafif pürüzlüyse, saçılma yüzeyi baskın olmaktadır ve H sıfıra yaklaşmaktadır. Bitki örtüsüne sahip yüzeyler için çoklu dağılım mekanizmaları nedeniyle H değeri yüksektir.

Alfa açısı parametresi ise 0° ile 90° arasında değişir ve saçılma türünü tanımlamaktadır (6). A=0° ise, saçılma düzlem yüzey düzlemi ile ilişkilidir. A=45° için, sonuç saçılma özelliklerinin bir dipol olduğunu göstermektedir.

$$A_{çift} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (6)$$

Alfa ve entropi tarafından oluşturulan parametre alanı, saçılmanın niteliğine göre 9 bölgeye ayrılmaktadır. Her iki parametre de hedef ortalama koherens matrisinin özdeğerleri ve özvektörleri kullanılarak hesaplanır. Bir H parametresi kullanıldığında, her bir pikselin bir entropi ve alfa açısı değerleri ile karakterize edildiği ve bir saçılma türünü bildirdiği iki boyutlu bir alan oluşturulmaktadır. Polarimetrik radar görüntülerindeki nesnelere tanımlamak için bu parametreler, PolSAR verilerinin sınıflandırılması için kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. H-alfa düzlemi bölge planı

Şekil 2.4'de gösterilen H-alfa bölge bazlı grafiklerde, sınıflar genel olarak çift sıçrama, hacim saçılma ve yüzey dağılımı olarak kategorize edilmektedir. Bölgesel olarak ise, Z1 bölgesi izole edilmiş dielektrik ve dihedral saçıcılar tarafından sağlanan düşük entropi ve çift sıçrama durumlarına karşılık gelen bölgedir. Z2 düşük entropi dipol saçılması, anizotropik saçılma elemanlarının yoğun korelasyonlu yönelimi ile izole dipol saçıcı veya bitki örtüsünden saçılma durumlarını kapsamaktadır. Z3 bölgesi düşük entropi bragg yüzey saçılımı bölgesidir.

Örneğin; L ve P bandlarda su, L-bandında deniz, buzul ve düzgün arazi yüzeyleri gibi durumlar bu bölgede gösterilmektedir. Z4 orta entropi çoklu saçılım, orta entropi ile dihedral saçılma bölgesidir. Örnekle, P ve L bantlarında bir ormanın gölge yoluyla çift sıçrama ve yayılmalar bu bölgede yer almaktadır. Z5 orta entropi bitki örtüsü saçılması, anizotropik saçılımcılar ile bitkisel yüzeylerden saçılma ve orta derecede korelasyonlu saçılma yönelimlerini kapsamaktadır. Z6 orta entropi yüzey saçılması, yüzey pürüzlülüğü ve kanopi yayılımı nedeniyle artan entropi bölgesidir. Z7 yüksek entropi çoklu saçılım, iyi gelişmiş bir dal ve taç yapısına sahip bitki örtüsünden saçılma bölgesidir. Z8 yüksek entropi bitki örtüsü saçılımı, orman kanopilerinden saçılma ve bitkisel yüzeylerden rastgele yüksek oranda anizotropik saçılma elemanı ile saçılmaları gösteren bölgedir. Z9 bölgesi H - alfa uzayındaki uygun bölgenin bir parçası değildir, yani yüzey saçılımını entropi $H > 0.9$ ile ayırt edilememektedir. Çalışmada ön işlem adımları gerçekleştirilen 2014 ve 2018 yılları ikili polarimetrik SAR görüntülerinde kentsel alanların ve arazi alanlarının yoğunlukta olduğu iki farklı karakterde bölge seçilerek, ayrı ayrı H-alfa ikili polarimetrik ayrışma algoritması uygulanmıştır.

2.4. Zamana Bağlı Sınıflandırma

Çok zamanlı verilerin kullanılması, arazi örtü sınıflarının değişimini izlemek için önemli bir yöntemdir. Tek tarihli görüntülerde, sınıf histogramları çakışırsa, ayrılabilirlik zayıftır ve benzer tepki düzenine sahip sınıflar arasındaki karışıklık yaygındır. Sentinel-1'in çok tarihli yetenekleri, arazi örtüsü sınıflandırma doğruluğunu geliştirme potansiyeline sahiptir (Balzter H. 2015). Doğru arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC) haritalaması tek başına çok zamanlı SAR görüntüleri kullanılarak elde edilebilmektedir. McNairn ve arkadaşları, 2014'te arazi kullanımı ve arazi örtüsü tanımlaması için tek bir SAR (VV, VH) görüntüsü kullanmış ve sınıflandırma doğruluğunun % 80'den az olduğunu bulmuşlardır.

Ancak başka bir çalışmada ise, dört farklı ve çok zamanlı polarimetrik Sentinel-1A uydu verileri kullanılarak % 85'den daha iyi bir sınıflandırma doğruluğu ortaya koyulmuştur (Zhou T. ve ark., 2017). Bu nedenle, çok zamanlı Sentinel-1A verileri arazi kullanımı ve arazi örtüsü tanımlamak için oldukça etkilidir. Bir çalışmaya çok zamanlı bakış açısı getirmek, sınıflar arasındaki örtüşmeyi gösteren değişim katsayısının niceliğinin incelenmesinden önce polarimetrik verileri anlamlandırmaya yönelik önveri analizini mümkün kılar (Erasmı ve Twele, 2009). Tek tarihli görüntü, arazi örtüsü sınıflandırmaları için sıklıkla kullanılır, ancak bazı sınırlamalar oluşturabilir. Bitki örtüsü sınıflarının ayırt edilmesi zor olabilir, bu da yalnızca tek bir tarih görüntüsüyle daha da zorlaşmaktadır. Çoklu zamansal bir yaklaşım, tek zaman dilimindeki görüntü analizinde bazı sınırlamaların üstesinden gelmeye yardımcı olacağı ve her bir arazi örtüsünün ayrımı için en uygun zamanda haritalanmasını sağlayabileceği için faydalıdır (McNairn ve ark., 2009). Bu özellikle SAR verisi kullanıldığında geçerlidir, çünkü sinyal bitki örtüsü büyümesinin başlangıcında maruz kalan toprağın varlığından etkilenmektedir. Özellikle VH geri saçılımında (dikey olarak iletilen ve yatay olarak alınan polarize radar sinyali) bitki örtüsü türleri arasındaki farklar, daha sonra büyüme mevsiminde daha belirgindir ve böylece sınıfların daha iyi ayırt edilmesine yarar sağlamaktadır (McNairn ve ark., 2009).

Çalışmada VV+VH polarizasyonlu 2014 ve 2018 yıllarına ait birleştirilmiş çok zamanlı görüntüler için, görüntü ön işleme adımından sonra H-alfa ikili polarimetrik ayrışma ile H-alfa düzleminde bölgesel ayrışmalar gerçekleştirilmiştir. Yine ön işlem sonrası elde edilen görüntüler için kontrolsüz polarimetrik H-alfa Wishart sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. H, A ve α polarimetrik ayrıştırma parametrelerine dayanarak, arazi örtüsü durumunu görmek için

kontROLSÜZ bir Wishart sınıflandırması uygulanmıştır. Wishart polarimetrik sınıflandırması, çok değişkenli karmaşık Wishart olasılık yoğunluğu işlevine dayalı bir polarimetrik veri kümesinin maksimum olabilirlik istatistiksel segmentasyonunu yürütmektedir. Farklı kümelerin başlatılması H-alfa segmentasyonunun sonucunu kullanır. Daha sonra, H-alfa çoklu merteye koherens matrisinin Wishart istatistiklerine dayanan Wishart sınıflandırmalarında bir eğitim temeli olarak kullanılmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan sınıflar, gözlemlenen görüntü çerçevesinin gelişmiş bir tanımını ve anlamını göstermektedir. H-alfa düzleminde gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu yine 9 bölge elde edilmiştir. Bu sınıflara arazi karakteristiğine ve saçılıma dayalı, bölge özelliklerine göre sınıflandırma ataması gerçekleştirilmiştir. Ve görsel çıktı yorumlamaya hazır hale gelmiştir.

Wishart sınıflandırma algoritması incelendiğinde, bir kovaryans matrisi, lineer dönüşüm ile bir tutarlılık matrisine dönüştürülebildiğinden (7), tutarlılık matrisi de karmaşık Wishart dağılımına sahiptir.

$$T = NCN^T$$

$$N = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Sınıflandırmada Cloude ve Pottier algoritmasını birleştirirken hesaplama kolaylığı için, tutarlılık matrisine dayanan H Alfa Wishart sınıflandırması kullanılmıştır.

Tutarlılık matrisi için olasılık yoğunluğu işlevi (8);

$$p_T^{(n)}((T)) = \frac{n^{qn} |T|^{n-q} [-nTr(V^{-1}(T))]^{-nTr(V^{-1}(T))}}{K(n,q) |V|^n} \quad (8)$$

$$K(n, q) = \pi^{\left(\frac{1}{2}\right)q(q-1)} T(n) \dots T(n - q + 1)$$

Karşılıklı durum için $q = 3$ ve bistatik durum için $q = 4$, bir matrisin izidir, n görünüm sayısıdır ve normalleşme faktörüdür.

Tutarlılık matrisi T ile m inci sınıfının bir küme ortalaması arasındaki mesafe ölçümü V_m (9),

$$d((T), V_m) = n[\ln|V_m| + Tr(V_m^{-1}(T))] - \ln[P(m)]$$

Yukarıda, P_m , sınıf m 'nin bir önsel olasılığıdır. Sınıf ortalaması, m n sınıfına ait tüm pikseller için T 'nin ortalaması olarak tanımlanır veya,

$$V_m = E[(T)|(T) \in \omega_m] \quad (9)$$

ω_m , m inci sınıfına ait piksel kümesidir. Önceden bir olasılık bilgisine sahip olmayan genel uygulamalarda, P_m 'nin eşit olduğu varsayılır ve bu eşdeğer bir uzaklık ölçüsüdür (10).

$$d((T), V_m) = \ln|V_m| + Tr(V_m^{-1}(T)) \quad (10)$$

Bu mesafe ölçümü, görünüm sayısından bağımsızdır, bu nedenle çok odaklı işlenmiş veya beneklenmiş polarimetrik SAR verisine de uygulanabilmektedir.

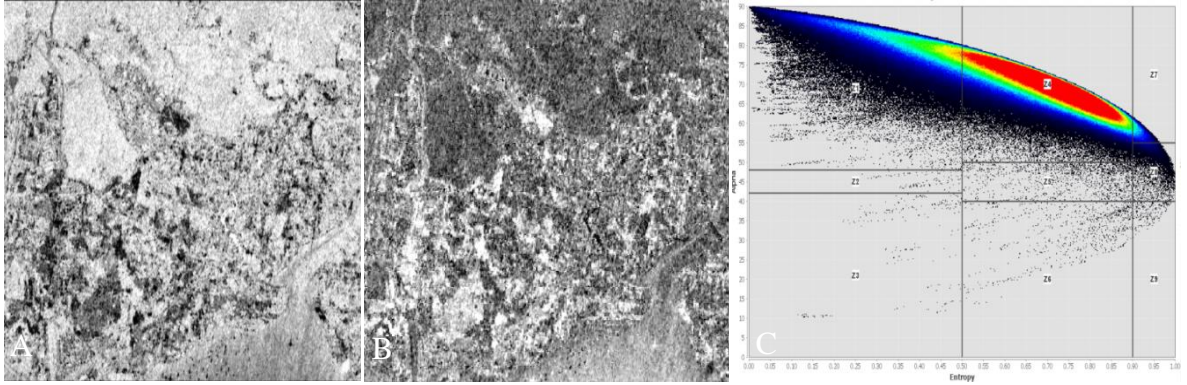
Kontrollü sınıflandırmada ise, eğitim setleri V_m 'yi hesaplamak için manuel olarak önceden seçilir, ardından minimum mesafeyle matematiksel olarak piksel sınıfa atanır (11).

$$d((T), V_m) \leq d((T), V_j) \text{ hepsi için } \omega_j \neq \omega_m \quad (11)$$

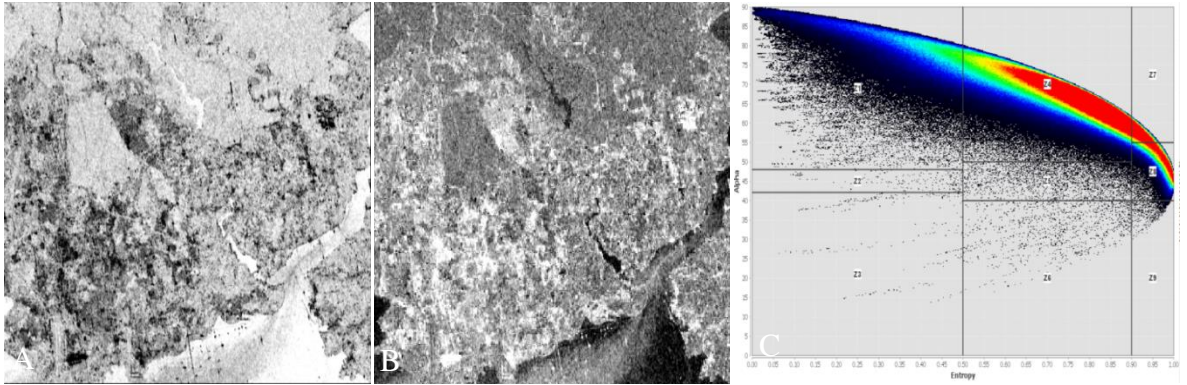
Tutarlılık matrisi ve kovaryans matrisinin lineer olarak ilişkili olması nedeniyle, tutarlılık matrisini kullanan sınıflamanın kovaryans matrisinin kullanılması ile benzer sonuçları vermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Kentsel karakterde seçilen bölge için;



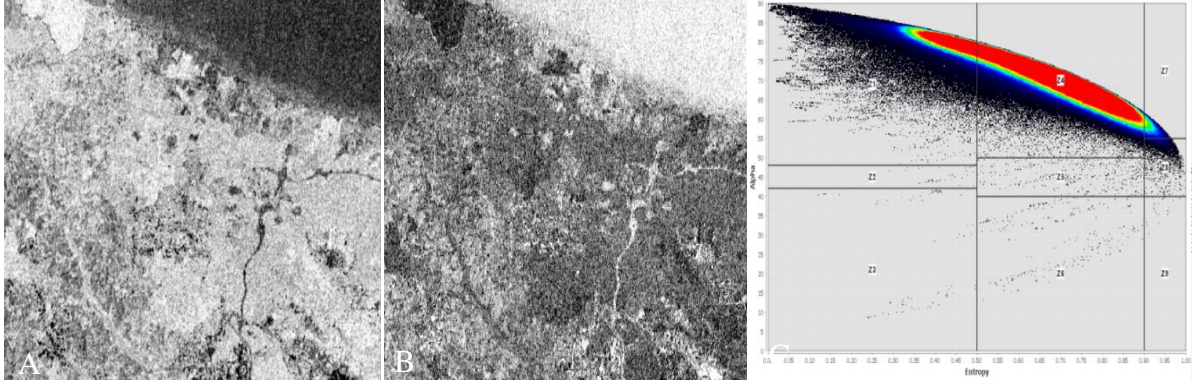
A) Entropi görüntüsü B) Alfa görüntüsü C) H-alfa ayrışma grafiği
Şekil 3.1. 2014 yılı H-alfa ikili polarimetrik entropi, alfa görüntüsü ve H-alfa ayrışma grafiği



A) Entropi görüntüsü B) Alfa görüntüsü C) H-alfa ayrışma grafiği
Şekil 3.2. 2018 yılı H-alfa ikili polarimetrik entropi, alfa görüntüsü ve H-alfa ayrışma grafiği

Polarimetrik parametrelerinden H entropi ve alfa polarimetrik saçılım parametrelerine bağlı olarak Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilen bölgesel ayrışma grafikleri elde edilmiştir. Entropi görüntülerinde, deniz üzerindeki saçılma düşük rastgelelik derecesi ile ifade edilir. Farklı saçılma mekanizmalarının inşa alanları üzerine karıştırılması, ara entropi değerleriyle sonuçlanır. Ormanlık bölgelerde, saçılma işlemi rastgeledir. α parametresi, anizotropik ortam üzerinde tek veya çift sıçrama yansımaları ve saçılması gibi, saçılımın doğasını ve türünü tanımlamaktadır. Deniz üzerindeki düşük değerler, yüzeyler için karakteristik olan tek sıçrama yansımalarını göstermektedir. Kentsel alanlar üzerinde çift sıçrama yansımaları, zemin duvarı etkileşimiyle açıklanabilir. Arazi alanları α hacimsel ortamı gibi ara değerlerle belirtilmektedir. Çok küçük α değerleri, çözünürlük hücresindeki yüzey dağılımını tek sıçrayan saçılmaları kapsamaktadır. Yüksek alfa değerleri, kentsel alanı veya ağaç gövdelerini gösteren çift sıçrama saçılmalarının baskınlığını temsil etmektedir. Yukarıda belirtilen uçlar arasındaki (45° üzeri) α değerleri, yoğun kentsel alanların veya bitki örtüsünün neden olduğu çoklu saçılmaların baskınlığını göstermektedir.

Kırsal karakterde seçilen bölge için;

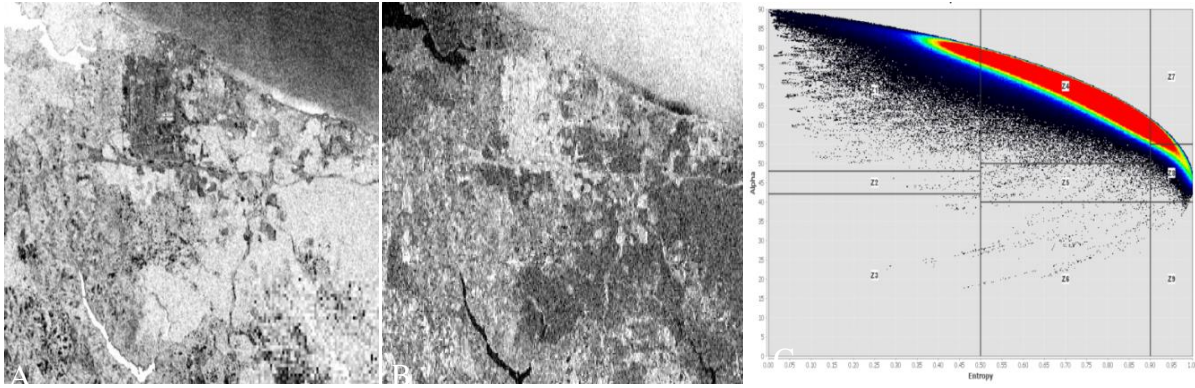


A) Entropi görüntüsü

B) Alfa görüntüsü

C) H-alfa ayrışma grafiği

Şekil 3.3. 2014 yılı H-alfa ikili polarimetrik entropi, alfa görüntüsü ve H-alfa ayrışma grafiği



A) Entropi görüntüsü

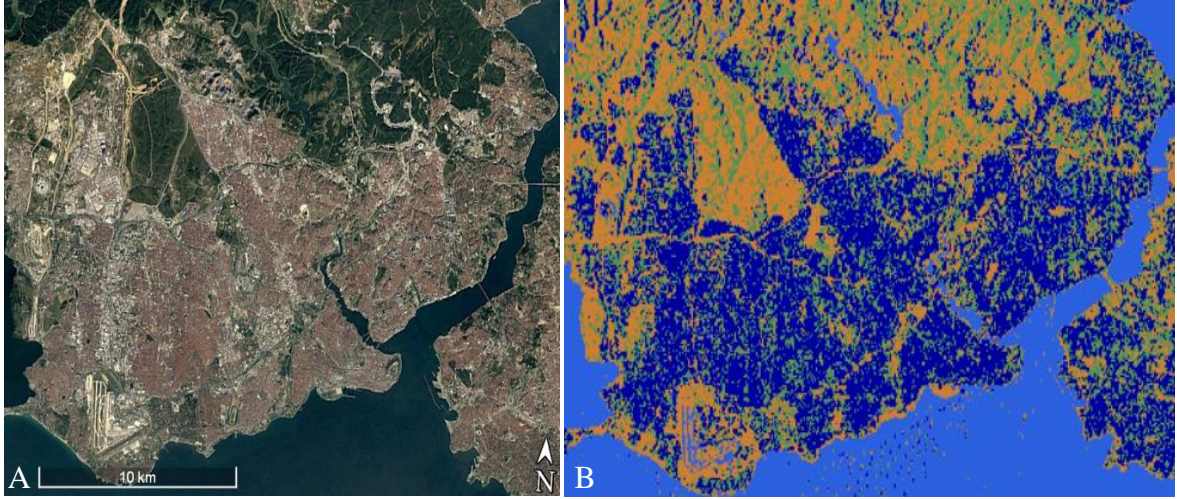
B) Alfa görüntüsü

C) H-alfa ayrışma grafiği

Şekil 3.4. 2018 yılı H-alfa ikili polarimetrik entropi, alfa görüntüsü ve H-alfa ayrışma grafiği

Görsel bulgu ve analizlerde ortaya koyulduğu gibi çok zamanlı aynı dilim görüntülere birleştirme işlemi uygulanması sonucu daha geniş ızgara alan elde edilmiş ve görüntü tamamlanmıştır. Grafiklerdeki birinci bölgeler köşe yansıtıcıları gibi metalik nesnelerin neden olduğu dihedral yansımaların olduğu bölgelerdir. Grafikteki ikinci bölgeler anizotropik saçılma elemanlarının güçlü bir şekilde ilişkili yönlendirmeleri ile, bitki örtüsünden saçılma gibi izole dipol saçılımını temsil etmektedir. Bitki örtüsü içermeyen su yüzeylerinin yansıtıcılığını gösteren bölgeler grafiğe üçüncü bölgede yansımaktadır. Eğitim alanı küme merkezleri, yinelemeler sırasında bölgesel olarak hareket edebilmektedir. Bu nedenle, birkaç iterasyondan sonra, bir küme merkezi bir bölümlenme kısmından komşu bir bölgeye hareket edebilmektedir. Şekil 3.4. C'de de H-alfa düzlem grafiğinde dördüncü bölgeden yedinci bölgeye hareket ettiği görülmektedir. Bu, dördüncü bölgedeki bu iki küme merkezi (orijinal bölge dört ve bir tanesi yedi ile dört) daha sonra sırasıyla orman veya kentsel yapıların neden olduğu iki tip çift sıçramayı temsil etmektedir. Alfa değerini arttırmak, orman gölgesi sekizinci bölge gibi rastgele saçılmalarda bile bitki örtüsüne ve çok yüksek H değerlerine yol açmaktadır. Çok yüksek H ve alfa karmaşık dağılımını, örneğin bir ağacın tepesinde çoklu saçılma ile yedinci bölge temsil etmektedir.

Kentsel karakterde seçilen bölge için;

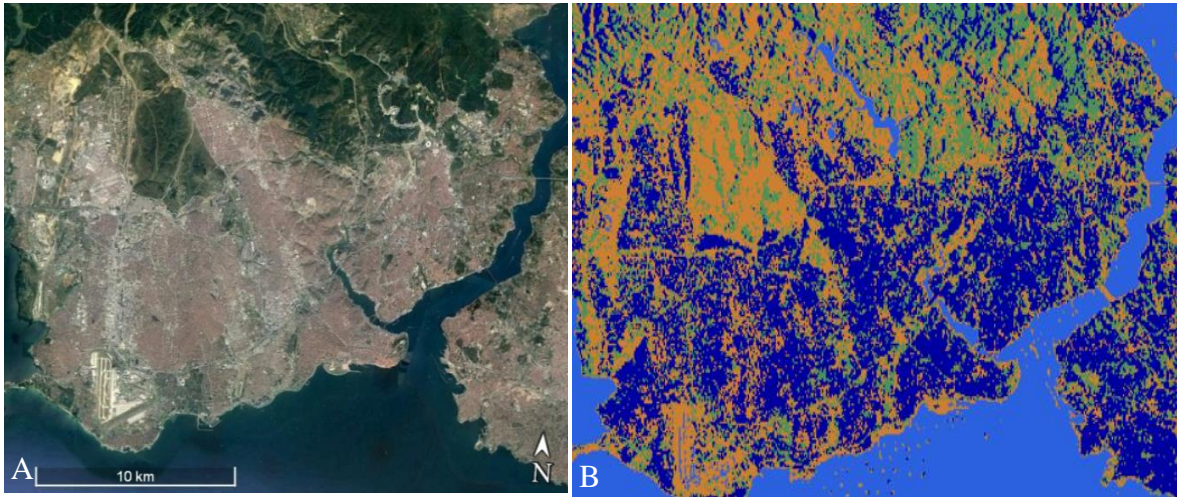


A) Google Earth görüntüsü

B) Kontrolsüz sınıflandırma sonucu

Şekil 3.5. 2014 yılı çalışma alanı ve H-alfa Wishart kontrolsüz sınıflandırma sonucu

Orman  Arazi  Su  Kentsel 



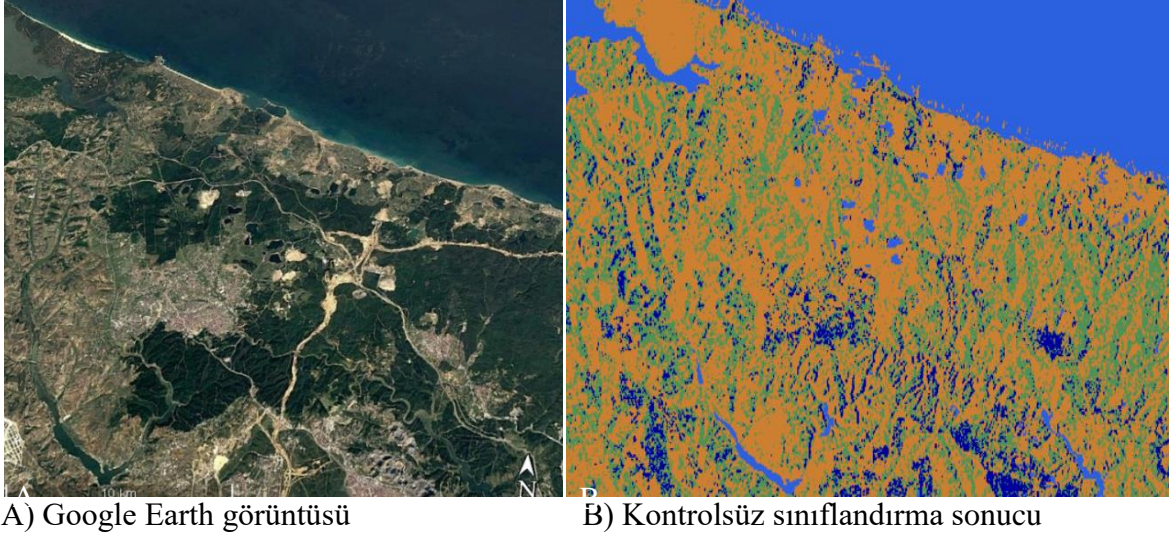
A) Google Earth görüntüsü

B) Kontrolsüz sınıflandırma sonucu

Şekil 3.6. 2018 yılı çalışma alanı ve H-alfa Wishart kontrolsüz sınıflandırma sonucu

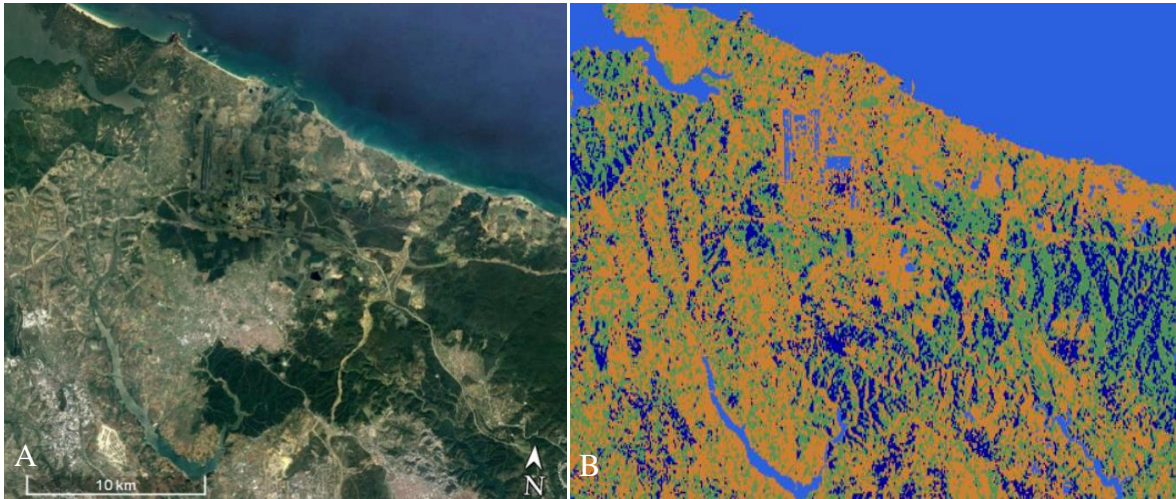
Orman  Arazi  Su  Kentsel 

Kırsal karakterde seçilen bölge için;



Şekil 3.7. 2014 yılı çalışma alanı ve kontrolsüz H-alfa Wishart sınıflandırma sonucu

Orman  Arazi  Su  Kentsel 



A) Google Earth görüntüsü

B) Kontrolsüz sınıflandırma sonucu

Şekil 3.8. 2018 yılı Google Earth görüntüsü ve kontrolsüz H-alfa Wishart sınıflandırma sonucu

Orman  Arazi  Su  Kentsel 

Çizelge 3.1. 2014 yılı kontrolsüz sınıflandırma doğruluk analizi

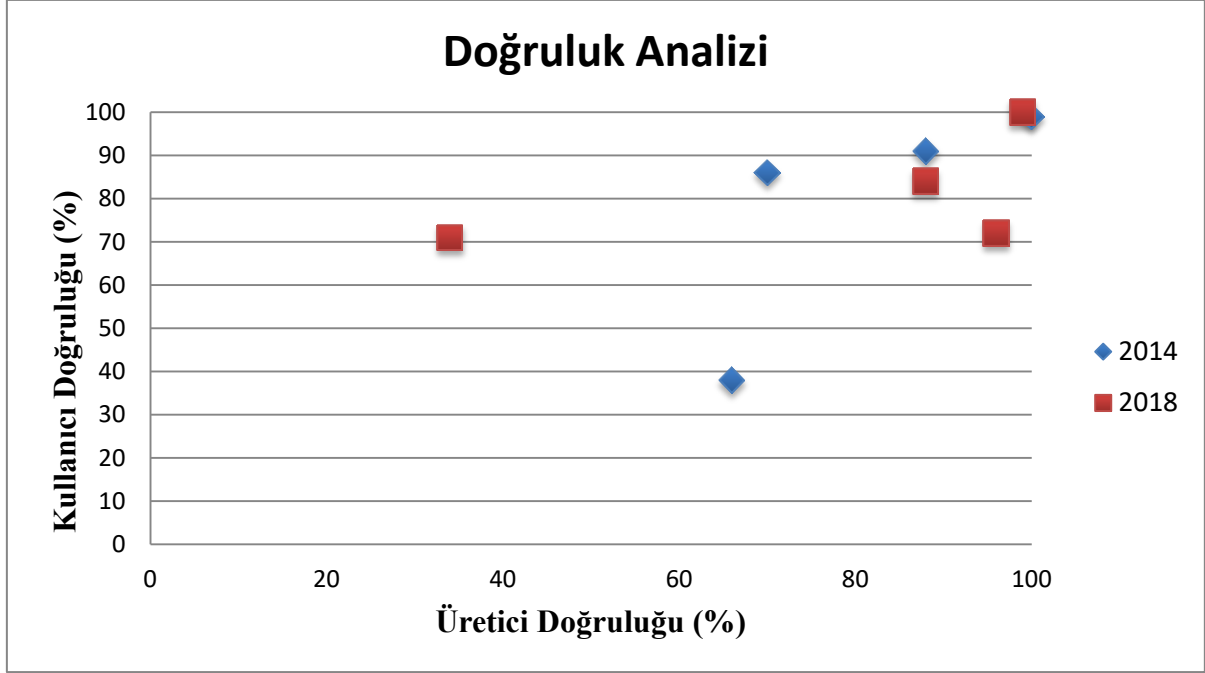
2014	Su	Kentsel	Arazi	Orman	Kullanıcı Doğruluğu
Su	124297	0	0	0	100
Kentsel	98	30246	1627	2468	0.88
Arazi	142	611	39220	16047	0.70
Orman	0	724	4992	11288	0.66
Üretici Doğruluğu	0.99	0.96	0.86	0.38	

Genel Doğruluk= $205.051/231.760=0.8848$

Çizelge 3.2. 2018 yılı kontrolsüz sınıflandırma doğruluk analizi

2018	Su	Kentsel	Arazi	Orman	Kullanıcı Doğruluğu
Su	123589	0	0	0	100
Kentsel	0	28128	911	4561	0.84
Arazi	167	456	41927	15032	0.72
Orman	0	3338	711	10322	0.71
Üretici Doğruluğu	0.99	0.88	0.96	0.34	

Genel Doğruluk $\kappa=203.966/229,142=0.8901$



Şekil 3.9.Üretici ve kullanıcı doğruluk analizi dağılım grafiği

H-alfa Wishart kontrolsüz sınıflandırma sonucuna ait genel doğruluk değerleri Çizelge 3.1’de incelendiğinde 2014 yılı için %88, 2018 yılı için Çizelge 3.2’de incelendiğinde %89 ile sınıflandırmanın yeterli doğrulukta gerçekleştiği görüldü. Sentinel-1A ikili polarimetrik uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen kontrolsüz sınıflandırma sonucunun görsel analizi yapıldığında, kentsel yoğunluk dağılımının yıllara göre arttığı görülmektedir. Seçilen kırsal alanda ise özellikle yapımı devam eden 3. Havalimanı bölgesi ve çevresi, 2014 yılında arazi alanı ve orman dağılımı göstermiştir. 2018 yılı sınıflandırma sonucunda havalimanı çevresinde, kentsel sınıf yoğunluğun görülür düzeyde arttığı gözlemlenmiştir. 2018 yılında havalimanı bölgesi pist alanları polarimetrik saçılım türünden kaynaklı, yüzey saçılımı göstererek sınıflandırma sonucu bazı alanlar su sınıfında sınıflandırılmıştır. Bu gibi yıllar arası arazi kullanımı değişimleri genel sınıflandırma doğruluğunu düşürebilmektedir. Sentinel-1A ikili polarimetrik uydu görüntülerinin farklı karakterdeki çalışma alanlarında, arazi sınıflandırmasında kullanılabilirliği saptanmıştır. Arazi sınıfları incelendiğinde orman sınıfındaki üretici doğruluğunun yetersizliğinin, görüntüdeki çoklu saçılımdan veya yeşil alan arazi sınıfıyla aynı saçılımı gösterebilme olasılığından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışma ile inceleme alanına ait çok zamanlı ikili polarimetrik uydu görüntüleri kullanılarak polarimetrik ayrışma ile polarimetrik parametreler yorumlanmıştır. İkili polarimetrik SAR görüntülerinin sınıflandırmada geçerli doğruluk sağladığı görülmüştür. Ayrıca arazi sınıfları tematik olarak dört farklı sınıfta değerlendirilerek ikili polarimetrik uydu görüntülerinin arazi sınıflandırılmasında hangi boyutta ve ne şekillerde kullanılabilirliği tespit edilerek, sonuçlar bir sonraki çalışmanın ileri planlamaları için girdi teşkil etmektedir. Ayrıca sınıflandırmada doğruluğu olumsuz etkileyen etkenler ve genel eksikler göz önüne alındığında arazi sınıflandırma doğruluğunu artırmak için ikili polarimetrik SAR görüntülerinin dörtlü polarimetrik SAR görüntüleri ile desteklenmesi planlanmıştır. Bu doğrultuda da SAR görüntülerinin belirli amaca yönelik kullanıldığında tamamlayıcı rol oynayabileceği saptanmıştır. Geleceğe yönelik arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimi sınıflandırması tespiti için, farklı spektral bandlarda görüntü alımı sağlayan PolSAR ve optik uydu görüntüleri kullanılarak data füzyon yaklaşımı gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Kaynakça

- Aschbacher J., Pongsrihadulchai A., Karnchanasutham S., Rodprom C., Paudyal D. R., Le Toan T., 1995. Assessment of ERS-1 SAR data for rice crop mapping and monitoring. In Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995. IGARSS'95. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications, International, 3: 2183-2185. IEEE.
- Balzter H., Cole B., Thiel C., Schmullius C., 2015. Mapping CORINE land cover from Sentinel-1A SAR and SRTM digital elevation model data using random forests. *Remote Sensing*, 7(11): 14876-14898.
- Betbeder J., Nabucet J., Pottier E., Baudry J., Corgne S., Hubert-Moy L., 2014. Detection and characterization of hedgerows using TerraSAR-X imagery. *Remote Sensing*, 6(5):3752-3769.
- Chen K. S., Huang W. P., Tsay D. H., Amar F., 1996. Classification of multifrequency polarimetric SAR imagery using a dynamic learning neural network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(3):814-820.
- Cloude S. R., Pottier E., ve Boerner W. M., 2002. Unsupervised image classification using the entropy/alpha/anisotropy method in radar polarimetry. In NASA-JPL, AIRSAR-02 Workshop, 04-06.
- Da Costa Freitas C., de Souza Soler L., Sant'Anna S. J. S., Dutra L. V., Dos Santos J. R., Mura J. C., Correia A. H., 2008. Land use and land cover mapping in the Brazilian Amazon using polarimetric airborne P-band SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(10):2956-2970.
- Dell'Acqua F., Gamba P., Lisini G., 2003. Improvements to urban area characterization using multitemporal and multiangle SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(9): 1996-2004.
- Dickinson C., Siqueira P., Clewley D., Lucas R., 2013. Classification of forest composition using polarimetric decomposition in multiple land scapes. *Remote sensing of environment*, 131:206-214.
- Erasmı S., Twele A., 2009. Regional land cover mapping in the humid tropics using combined optical and SAR satellite data—a case study from Central Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10):2465-2478.
- Ferro-Famil L., Pottier E., Lee J. S., 2001. Unsupervised classification of multifrequency and fully polarimetric SAR images based on the H/A/Alpha-Wishart classifier. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(11):2332-2342.
- Foucher S., Béné G. B., Boucher J. M., 2001. Multiscale MAP filtering of SAR images. *IEEE Transactions on image processing*, 10(1):49-60.
- Hu G. C., Zhao Q. H., 2017. G0-WISHART Distribution Based Classification from Polarimetric SAR Images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4-451.
- Karjalainen M., Kankare V., Vastaranta M., Holopainen M., Hyypä J., 2012. Prediction of plot-level forest variables using TerraSAR-X stereo SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 117:338-347.

- Kumar M. S., Tolpekin V., Raju M. P., 2012. RUCHI VERMA March, 2012.
- Lee J. S., Grunes M. R., Ainsworth T. L., Du L. J., Schuler D. L., Cloude, S. R., 1999.
- Lee J. S., Grunes M. R., Schuler D. L., Pottier E., Ferro-Famil L., 2006. Scattering-model-based speckle filtering of polarimetric SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(1):176-187.
- Li G., Lu D., Moran E., Dutra L., Batistella M., 2012. A comparative analysis of ALOS PALSAR L-band and RADARSAT-2 C-band data for land-cover classification in a tropical moist region. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 70:26-38.
- Li X., Yeh A. G. O., 2004. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban planning*, 69(4):335-354.
- McCandless S. W., Jackson C. R., 2004. Principles of synthetic aperture radar. *SAR Marine User's Manual*, 1-23.
- 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.
- Olivié J. D., 2015. H- α decomposition and unsupervised Wishart classification for dual-polarized polarimetric SAR data. Univ. Autònoma Barcelona.
- Ouarzeddine M., BelhdjAissa A., Souissi B., Belkhider M., Boulahbal S., 2005, May. Polarimetric classification using the Cloude/Pottier decomposition. In *ESA Special Publication*, 586:16.
- Park N. W., Chi K. H., 2008. Integration of multitemporal/polarization C-band SAR data sets for land-cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16): 4667-4688.
- Sakshaug S. E. H., 2013. Evaluation of Polarimetric SAR Decomposition methods for tropical forest analysis, Master's thesis, University of Tromsø.
- Small D., Holecz F., Meier E., Nüesch D., Barmettler A., 1997. Geometric and radiometric calibration of RADARSAT images. Proc. of Geomatics in the Era of RADARSAT, Ottawa, Canada. Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5): 2249-2258.
- Zhou T., Pan, J., Zhang P., Wei S., Han T., 2017. Mapping winter wheat with multi-temporal SAR and optical images in an urban agricultural region. *Sensors*, 17(6): 1210.
- Zhu Z., Woodcock C. E., Rogan J., Kellndorfer J., 2012. Assessment of spectral, polarimetric, temporal, and spatial dimensions for urban and peri-urban land cover classification using Landsat and SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 117: 72-82.