

Landsat ve ALOS Verilerini Kullanarak Arazi Örtüsü Haritasının Oluşturulması

Combining Landsat and ALOS Data for Land Cover Mapping

Saygın Abdikan
Geomatik Mühendisliği Bölümü
Bülent Ecevit Üniversitesi
Zonguldak, Türkiye
sabdikan@beun.edu.tr

Mustafa Üstüner ve Füsün Balık Şanlı
Harita Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
mustuner@yildiz.edu.tr, fbalik@yildiz.edu.tr

Gökhan Bilgin
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
gbilgin@yildiz.edu.tr

Özetçe—Bu çalışmada arazi kullanım haritasının oluşturulmasında radar uydu görüntüsünün optik uydu görüntüsüne katkısını araştırmak amacıyla L-band ALOS PALSAR radar uydu görüntüsü ve Landsat TM optik uydu görüntüsü kullanılmıştır. Çift polarimetrik ALOS verisi ile birlikte Landsat görüntüsünden üretilen normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi de eklenerek farklı bant kombinasyonları oluşturulmuştur. Ayrıca farklı sınıflandırma teknikleri ele alınarak orman ağırlıklı arazi kullanım haritaları oluşturularak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Görüntü sınıflandırma tekniği olarak Rastgele Orman (RO), k-en yakın komşu (K-EYK) ve Destek Vektör Makinaları (DVM) yöntemleri uygulanmıştır. Yöntemler arasında en yüksek sonucu DVM verirken, tüm verilerin kullanıldığı veri seti en yüksek doğruluğu vermiştir.

Anahtar Kelimeler — Landsat; ALOS; arazi örtüsü; görüntü sınıflandırma

Abstract—In this study, L-band ALOS PALSAR radar satellite image and Landsat TM optical satellite image were used to investigate the contribution of radar satellite image to optical satellite image for land cover mapping. Dual-polarimetric data of ALOS satellite and also normalized difference vegetation index (NDVI) generated from Landsat image were used for the analysis. In addition, different classification techniques were taken into consideration and forest dominated land cover maps were produced and the results were compared. Random Forest (RF), k-Nearest Neighbors (k-NN) and Support Vector Machines (SVM) approaches were applied as image classification techniques. While the best result among the methods is DVM, the data set in which combined data are used gives the best general accuracy result.

Keywords — Landsat; ALOS; land cover; image classification

I. GİRİŞ

Arazi kullanım bilgisi Dünya yüzeyine ait pek çok çalışmada öncül altlık olarak, ormanlık alanların izlenmesi [1], mekânsal değişim analizi [2], tarım alanlarının izlenmesi [3] ve doğal afet [4] gibi çalışmalarda kullanılmıştır. Uzaktan algılamada özellikle optik veriler geniş alanlarda yüzey dinamiklerinin tespit edilmesi, farklı arazi kullanım alanlarının belirlenmesi ve izlenmesinde büyük bir potansiyele sahiptir. Yirminci yüzyılın sonlarından itibaren dikkat çeken, hızlı gelişimin beraberinde getirdiği nüfus artışı ve şehirleşme, küresel iklim değişikliği ve doğal afetler, mevcut doğal kaynakların yönetiminin sürekliliği açısından önemlidir.

Optik algılayıcılar arasında da Landsat uydu serisine ait görüntüler son zamanlarda kullanıcılara ücretsiz servis edilmesi nedeniyle hem lokal ölçekte [3] hem de küresel ölçekte sık kullanılmaya başlanmıştır [5]. Arşiv verilerine de ulaşımın kolay olması lokal ölçekte uzun zamanda meydana gelen arazi kullanımına ait değişimlerin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte arşiv optik görüntülerden oluşturulan mozaik ürünlerden üretilmiş, belirli standartlara sahip, arazi örtüsüne ait veritabanları üretilerek kullanıcılara sunulmuştur [6].

Sentetik açıklıklı radar (SAR) sistemleri, optik sistemlerden farklı olarak gece-gündüz görüntü alımı ve hava koşullarından kısmen bağımsız olması nedeniyle optik sistemlerin atmosferik koşullardan etkilendiği bölgelerde avantaj sağlamaktadır. Arazi örtüsünün belirlenmesinde SAR görüntüleri de etkin bir şekilde kullanılmaktadır [7, 8].

Uzaktan algılamada çoklu algılayıcı (multi-sensor) yaklaşımı pek çok uygulamada hedef nesneye ait daha fazla

bilginin çıkarımını sağlamıştır [9, 10]. Optik ve SAR verilerinin beraber kullanılması literatürde farklı yaklaşımlar yer almaktadır. Burada, görüntülerin alım tarihlerine göre iki genel yaklaşımdan söz edilebilir. Bunlardan ilki görüntülerin eş/yakın zamanlı alımıyla gerçekleşen ve görüntülerin birleştirilerek (image fusion) ele alındığı yaklaşımdır [6, 11, 12]. Diğer bir yaklaşım ise farklı zamanlarda alınan görüntülerin belirli bir zaman diliminde birbirini devam eden gözlemler olarak ele alınmasıdır. Bu yaklaşım, tesadüfen aynı zamanda alınmamış görüntülerin kullanılması durumunda ele alınmaktadır [6]. Arazi örtüsünün oluşturulmasında görüntü sınıflandırma teknikleri kullanılarak görüntüye ait piksel değerlerinden arazi tiplerine ait bilgiler çıkarılmaktadır. Görüntülerde hedef nesnelerin belirlenmesi ve sınıflandırılması amacıyla pek çok yöntem geliştirilmiştir.

Parametrik olmayan yapıları ve yüksek doğrulukta sınıflandırma kabiliyetleri nedeniyle topluluk öğrenme algoritmaları ve kernel tabanlı yöntemler uzaktan algılamada sınıflandırma işleminde sıklıkla tercih edilmektedir [13]. Topluluk öğrenme algoritmalarından (çoklu sınıflayıcılardan) rastgele orman algoritması, kernel tabanlı yöntemlerden ise destek vektör makineleri yöntemleri seçilmiştir.

Bu çalışmada, optik Landsat TM görüntüsü ve ALOS PALSAR (SAR) görüntüsü kullanılarak farklı veri setleri üretilmiş ve görüntü sınıflandırma teknikleri uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca radar görüntüsünün optik görüntüye olan katkısı araştırılmıştır. Görüntü sınıflandırma tekniği olarak rastgele orman (RO), K-en yakın komşu (K-EYK) ve destek vektör makineleri (DVM) sınıflandırma yöntemleri uygulanmış ve bu yöntemlerin arazi örtüsünün belirlenmesindeki başarımları incelenmiştir.

II. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

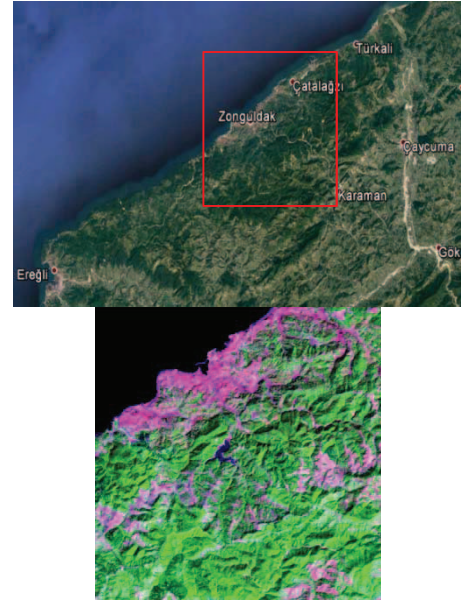
A. Çalışma alanı

Çalışma kapsamında Zonguldak il merkezini kapsayan alan seçilmiştir (Şekil 1). Bölge, Türkiye'nin en büyük yer altı taşkömürü madenciliğinin yapıldığı yer olması nedeniyle bölgede sıklıkla tasman hareketleri görülmektedir [14, 15]. Diğer yandan şehir alanlarının zamanla genişlediği görülmektedir. Ancak geniş ormanlık alanlar, topografyanın engelleyici rolü ve jeolojik yapısı gereği şehir gelişimi sürdürülemez şekilde ilerlemektedir [16]. Yerleşim daha çok kıyı kesimde yoğunluk gösterirken iç bölgelerde ormanlık alanlar daha dominant bir yayılım göstermektedir.

B. Kullanılan veriler

Çalışma kapsamında kullanılan SAR görüntüsü Japon Uzay Ajansı (The Japan Space Exploration Agency's - JAXA) tarafından 2006 yılında fırlatılan ALOS (Advanced Land Observing Satellite) uydusuna ait PALSAR (Phase Arrayed L-band Synthetic Aperture Radar) algılayıcısı ile görüntülenmiştir. Görüntü yükselen yönde Fine Beam Dual (FBD) görüntü alım modunda alınmış olup HH (Yatay-Yatay) ve HV (Yatay-Düşey) olmak üzere çift polarizasyona sahiptir (Tablo I).

Optik veri olarak multispektral özelliğe sahip ve Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından sağlanan Landsat 5 uydu görüntüsü kullanılmıştır (Tablo I).



Şekil. 1. Çalışma Alanı

TABLO I. KULLANILAN VERİLER

	ALOS-1	LANDSAT 5
Alım tarihi	10/09/2009	07/09/2009
Algılayıcı	PALSAR/FBD	TM
Mekansal çözünürlük	15 m	30 m
Polarizasyon	HH+HV	-
Dalgaboyu	23 cm (L-band)	B1 Görünür (0.45–0.52 μm)
		B2 Görünür (0.52–0.60 μm)
		B3 Görünür (0.63–0.69 μm)
		B4 Kızılötesi (0.76–0.90 μm)
		B5 Kızılötesi (1.55–1.75 μm)
		B6 Orta-kızılötesi (2.08–2.35 μm)

III. METODOLOJİ

Uydu verilerini sınıflandırmadan önce geometrik ve radyometrik düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ham olarak elde edilen SAR verisi öncelikle tek bakışlı kompleks görüntü formatına (Single Look Complex - SLC) dönüştürülmüş ve çoklu bakış (multi-looking) işlemi gerçekleştirilmiştir (1x4, range x azimuth).

Gürültü etkisinin azaltılması ve aynı zamanda lineer detayların korunması amacıyla 3x3 boyutunda Gamma Map filtresi uygulanmıştır. Aster görüntüsüne ait 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli kullanılarak topoğrafik etki azaltılmıştır. Son işlem olarak piksel değerleri desibel (db) değerine dönüştürülmüştür [17]. Landsat görüntüsünün atmosferik düzeltme işlemi ATCOR algoritması ile yapılmıştır [18]. Çalışmada kapsamında termal bant dışındaki altı adet spektral bant kullanılmıştır.

Ayrıca kırmızı ve kızılötesi bant kullanılarak NDVI görüntüsü üretilmiş [$\text{NDVI}=(\text{B4}-\text{B3})/(\text{B4}+\text{B3})$] ve ek bir bant

olarak eklenmiştir [19]. Karşılaştırma yapabilmek için Landsat verisi 30 m den 15 m'ye örneklenmiştir ve görüntü boyutu 1100x1100 pikseldir. Çalışma kapsamında dört adet veri seti oluşturulmuş ve her bir veri seti için üç farklı sınıflama yöntemi kullanılmıştır (Tablo II). İlk veri seti sadece Landsat bantları ile oluşturulmuştur. İkinci veri setinde ise 6 bant ile birlikte NDVI bitki indeksi yer almaktadır. Üçüncü veri setinde sadece Landsat bantları ve ALOS/PALSAR verisi kullanılarak oluşturulmuş sekiz bantlı bir veri setidir. Son veri seti ise tüm bantlar bir araya getirilerek oluşturulmuştur. Arazi örtüsüne ait beş sınıf belirlenmiştir, bunlar Tablo III'de açıklanmıştır.

TABLO II. TEST İÇİN KULLANILAN VERİ SETLERİ

Veri setleri	Kullanılan bantlar
I	1-2-3-4-5-6
II	1-2-3-4-5-6-NDVI
III	1-2-3-4-5-6-HH-HV
IV	1-2-3-4-5-6-NDVI-HH-HV

TABLO III. ARAZI ÖRTÜSÜ

Sınıf	Açıklama
Açık alan	Çıplak arazi, açık maden alanları
Saf geniş yapraklı orman	Kayın ve Kayacık
Karışık geniş yapraklı orman	Kayın, Gürgen, Meşe
Karışık orman	Hem geniş yapraklı hem iğne yapraklı orman (Karaçam, Sarıçam, Sahilçamı, Göknaar, Kayın, Meşe)
Yapay alan	Yerleşim, liman, yol

Sınıflandırma işlemi, uydu görüntülerinden tematik bilgi üretmek amacıyla kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir ve günümüzde uzaktan algılamada geleneksel algoritmaların yanında ileri düzey sınıflandırma algoritmaları (derin öğrenme, aktif aşırı öğrenme makineleri, geniş marjın tabanlı sınıflayıcılar, topluluk öğrenme algoritmaları vb.) da mevcuttur.

Topluluk öğrenme algoritmalarından en dikkat çekici olanı ağaç tabanlı bir sınıflayıcı olan rastgele orman algoritmasıdır. Bu algoritma sınıflar arasındaki karar yüzeyini belirlerken birden fazla ağaçtan faydalanır ve karar yüzeyini oy çokluğuna dayalı sistem (majority voting) yardımıyla belirler. Ağaçlar rastgele özellik seçimi ile geliştirilir ve budama işlemi yoktur [13, 20]. Rastgele orman algoritmasında N (ağaç sayısı) 250 ve m (parametre sayısı) 2 olarak belirlenmiştir.

Makine öğrenme algoritmalarından biri olan destek vektör makineleri kernel tabanlı bir sınıflandırma yöntemidir ve istatistiksel öğrenme teorisine dayalıdır. İki sınıfı birbirinden ayırabilen optimum hiperdüzlemin belirlenmesi esasına dayanan bu yöntem, az sayıda eğitim verisi ile yüksek başarılı sınıflandırma sonuçları vermesi nedeniyle hem multispektral hem de hiperspektral görüntülerin sınıflandırılması işleminde tercih edilmektedir. Belirlenen optimum hiperdüzlemin kendisine en yakın destek vektörleri ile arasındaki mesafenin toplamına marjın denilmektedir. DVM, iki sınıfı birbirinden ayırırken marjın değerini maksimum hale getirmeye çalışır. İki sınıfın doğrusal hiperdüzlem ile ayrılamaması durumunda ise,

kerneller kullanılır [13]. Bu çalışmada polinom kerneli ve radyal tabanlı fonksiyon kerneli kullanılmıştır. Polinom kerneli için polinom derecesi 3, ceza parametresi 500 olarak, radyal tabanlı fonksiyon kerneli için ise ceza parametresi 400 olarak alınmıştır. İki kernel yönteminde de gama parametresi 0,1 olarak alınmıştır.

Çalışmada kullanılan diğer bir yöntem ise makine öğrenme algoritmalarından birisi olan K-En Yakın Komşuluk yöntemidir. Bu yöntemde piksele en yakın k sayıdaki komşu pikseller belirlenir ve hedef piksel, komşu piksellerden en çok sayıya sahip olan sınıfa atanır. Pikseller arası mesafenin belirlenmesinde Öklid mesafesi kullanılmıştır [21]. K değeri 9 olarak belirlenmiştir.

Sınıflandırma yöntemlerinin performansını belirlemek için doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç kapsamında test alanları oluşturulmuş ve hata matrisi metodu ile toplam doğruluk ve kappa değerleri hesaplanmıştır [22].

IV. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada Landsat ve ALOS/PALSAR uydu görüntüleri üzerinde farklı görüntü sınıflandırma teknikleri uygulanarak arazi örtüsü oluşturulmuş ve her bir yöntemin performansı karşılaştırılmıştır. Ayrıca her iki görüntü kullanılarak dört farklı veri seti oluşturulmuş ve sadece Landsat bantları ile oluşturulan arazi örtüsü bilgisine olan katkılar araştırılmıştır.

Tablo IV'de her bir sınıflandırma yöntemi ile elde edilen doğruluk analizleri görülmektedir. RO yönteminde sadece NDVI verisinin katkısı veri seti II'de görülmezken, veri seti III'de SAR verisinin doğruluğu artırdığı gözlenmektedir. Bununla beraber, NDVI ve SAR verilerinin doğruluğu maksimum %0.7878 oranında artırdığı görülmektedir.

K-NN yöntemi ile yapılan sınıflandırmada NDVI verisinin doğruluğu düşürdüğü, diğer yandan SAR verisi doğruluğu %1.9702 artırdığı gözlenmiştir. Tüm verilerin bir arada kullanıldığı veri seti IV de ise yine NDVI sebebiyle doğruluk veri seti III'e göre azalmış ancak sadece Landsat bantları ile oluşturulan veri seti I'e göre az miktarda yükseldiği görülmektedir.

DVM (pol) sonuçlarında sadece NDVI verisinin katkısının (veri seti II), sadece SAR verisinin (veri seti III) katkısından çok az miktarda fazla olduğu belirlenmiştir. Tüm verilerin bir arada kullanıldığı veri seti IV'de ise doğruluğun maksimum olduğu ve %1.667 arttığı elde edilmiştir.

Dördüncü yöntem olan DVM (RBF) sonuçlarında hem NDVI hem de SAR verilerinin tek başlarına sırasıyla, %0.5629 ve %1.3856 katkısı olduğu belirlenmiştir. En iyi sonuç veri seti IV ile %1.5588 olarak belirlenmiş ve hem NDVI hem de SAR verisinin katkı sağladığı gözlenmiştir.

Genel sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir;

- Sadece Landsat bantlarının oluşturduğu veri seti I'in doğruluğu %74.3667 ile en iyi KNN yöntemi vermiştir.
- Sadece NDVI'nin katkısı (veri seti II) DVM yöntemi ile sırasıyla DVM (pol) %0.6928 ve DVM (RBF) %0.5629 olarak görülmekte, diğer yöntemlerin ise doğruluğu düşürdüğü görülmektedir.

- ALOS/PALSAR verisinin katkısı (veri seti III) tüm yöntemler ile sağlanmıştır ancak en yüksek katkıyı %1.9702 ile RO yöntemi vermiştir.
- ALOS/PALSAR verisinin NDVI verisinden daha fazla katkı sağladığı görülmektedir.
- NDVI'ın tek başına katkısı daha düşük olurken, SAR verisi ile birlikte kullanımının doğruluğu, K-NN yöntemi hariç daha fazla artırdığı belirlenmiştir.
- Dört yöntem arasından en başarılı yöntem %75.7090 ile DVM (RBF) yöntemi olmuştur.

TABLO IV. SINIFLANDIRMA SONUÇLARINA AİT DOĞRULUK ANALİZLERİ

	RO		K-NN	
	Toplam doğruluk (%)	Kappa	Toplam doğruluk (%)	Kappa
I	74.3667	0.6580	72.0069	0.6255
II	74.1719	0.6555	71.4657	0.6186
III	75.0812	0.6674	73.9771	0.6510
IV	75.1245	0.6682	72.6131	0.6324
	DVM (pol)		DVM (RBF)	
	Toplam doğruluk (%)	Kappa	Toplam doğruluk (%)	Kappa
I	73.9121	0.6522	74.1502	0.6545
II	74.6049	0.6608	74.7131	0.6622
III	74.5183	0.6597	75.5358	0.6731
IV	75.5791	0.6735	75.7090	0.6754

Orman Genel Müdürlüğü'nün stratejik planları içinde yer alan ormanlık alanların ve sınırların korunması, ormanlık alanlarda biyoçeşitliliğin muhafaza edilmesi ve orman hastalıklarıyla savaşılmaması gibi amaçların yerine getirilmesinde ormanlık alanlara ait doğruluğu yüksek haritaların üretilmesi gerekmektedir [17]. Sonuç olarak çoklu algılayıcı kullanılarak üretilen arazi örtüsü bilgisinin daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu yaklaşım hem ağaç türlerinin izlenmesinde orman yönetimine katkı sağlayacaktır.

İleriki çalışmalarda SAR verisinin gerisایشım değeri ile birlikte doku (texture) bilgisinin de kullanılarak arazi örtüsü sınıflandırma doğruluğuna olan katkısının araştırılması planlanmıştır.

BİLGİLENDİRME

Landsat 5 uydu görüntüsünün ücretsiz temini için Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumuna (USGS) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Qin, Y., Xiao, X., Dong, J., Zhang, G., Shimada M., Liu, J., Li, C., Kou, W. ve Moore III, B., Forest cover maps of China in 2010 from multiple approaches and data sources: PALSAR, Landsat, MODIS, FRA, and NFI, *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sens.* 109: 1–16, 2015.
- [2] Samaniego, L. ve Schulz, K., “Supervised Classification of Agricultural Land Cover Using a Modified *k*-NN Technique (MNN) and Landsat Remote Sensing Imagery”, *Remote Sens.* 1:875-895, 2009.
- [3] Coulter, L.L., Stow, D.A., Tsai, Y., Ibanez, N., Shih, H.C., Kerr, A., Benza, M., Weeks, J.R. ve Mensah, F., “Classification and assessment of land cover and land use change in southern Ghana using dense stacks of Landsat 7 ETM+ imagery”, *Remote Sens. of Env.*, 184:396–409, 2016.
- [4] Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M. ve Chang K.-T., “Landslide inventory maps: New tools for an old problem”, *Earth-Science Reviews*, 112(1-2):42-66, 2012.
- [5] Yamazaki, D., Trigg, M.A. ve Ikeshima, D., “Development of a global ~90 m water body map using multi-temporal Landsat images”, *Remote Sens. of Env.* 171:337–351, 2015.
- [6] Lehmann, E.A., Caccetta P.A., Zhou, Z.S., McNeill, S., Wu, X., ve Mitchell A.L., “Joint Processing of Landsat and ALOS-PALSAR Data for Forest Mapping and Monitoring”, *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.*, 50(1):55-67, 2012.
- [7] Abdikan, S., Sanli, F.B., Ustuner, M. ve Calò, F., “Land Cover Mapping Using Sentinel-1 SAR Data”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B7:757-761, 2016.
- [8] PCI Geomatics. PCI geomatics Enterprises. 2014. Help manual, Focus user guide. Chapter 6. Richmond Hill, Ontario, Canada.
- [9] Longepe, N., Rakwatin, P., Isoguchi, O., Shimada, M., Uryu, Y. ve Yulianto, K., “Assessment of ALOS PALSAR 50 m Orthorectified FBD Data for Regional Land Cover Classification by Support Vector Machines”, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 49(6):2135-2150, 2011.
- [10] Griffiths, P., Hostert, P., Gruebner, O. ve van der Linden., S., “Mapping megacity growth with multi-sensor data”, *Remote Sensing of Env.*, 114 (2010) 426–439.
- [11] Desclee, B., Simonetti, D., Mayaux, P. ve Achard F., “Multi-Sensor Monitoring System for Forest Cover, Change Assessment in Central Africa”, *IEEE J. of Sel. Topics In Appl. Earth Obs. and Remote Sens.*, 6(1): 110-120, 2013.
- [12] Walker, W., Stickler, C., Kellndorfer, J., Kirsch, K. ve Nepstad, D., “Large area classification and mapping of forest and land cover in the Brazilian Amazon: A comparative analysis of ALOS/PALSAR and Landsat data sources,” *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 3(4): 594–604, 2010.
- [13] Sukawattanavijit, C. ve Chen, J. “Fusion of RADARSAT-2 Imagery with LANDSAT-8 Multispectral Data for Improving Land Cover Classification Performance Using SVM”, *IEEE 5th Asia-Pacific Conf. on Synthetic Aperture Radar (APSAR)*, 567-572, 1-4 Sept. 2015.
- [14] Arca, D., Keskin, Citioglu, H., Kutoglu, H.S., Kemaldere, H., Mekik, C., Sarginoglu S. ve Arslanoglu M., “Unsustainable urban development for Zonguldak metropolitan area (NW Turkey)”, *Int. J. of Sustainable Development & World Ecology*, 21(5):398-405, 2014.
- [15] Turer, D., Nefeslioglu, H.A., Zorlu, K. ve Gokceoglu, C., “Assessment of geo-environmental problems of the Zonguldak province (NW Turkey)”, *Environ Geol*, 55:1001–1014, 2008.
- [16] Abdikan, S., Arkan M., Balık Sanli, F. ve Cakir, Z., “Monitoring of coal mining subsidence in peri-urban area of Zonguldak city (NW Turkey) with persistent scatterer interferometry using ALOS-PALSAR”, *Environmental Earth Sciences*, 71(9):4081-4089, 2014.
- [17] Abdikan, S. “Exploring image fusion of ALOS/PALSAR data and LANDSAT data to differentiate forest area”, *Geocarto International*, DOI:10.1080/10106049.2016.1222635, 2016.
- [18] Tucker, C.J. "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation", *Remote Sensing of Env.* 8(2): 127-150, 1979.
- [19] Congalton R.G. “A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data”, *Remote Sensing of Env.* 37: 35-46. doi: http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B,1991.
- [20] Pal, M. “Advanced algorithms for land use and cover classification”, *Advances in Mapping from Remote Sensor Imagery*, CRC Press, 2012, pp. 69-90.
- [21] Waske, B., Benediktsson, J., ve Sveinsson, J., “Random Forest Classification of Remote Sensing Data”, *Signal and Image Processing for Remote Sensing*, Second Edition, CRC Press, 2012, pp. 365-374.
- [22] Franco-Lopez, H., Ek, A.R. ve Bauer, M.E., “Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method”, *Remote Sensing of Env.*, 77(3):251-274, 2001.