SAR GÖRÜNTÜLERİNİN (PALSAR VE RADARSAT-1) MULTİSPEKTRAL SPOT GÖRÜNTÜSÜ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ: SONUÇ GÖRÜNTÜLERİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Saygın ABDİKAN[1], Füsun BALIK ŞANLI[1]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, (sabdikan,fbalik)@yildiz.edu.tr

ÖZET

Arazi kullanım bilgisi, ulusal ve küresel anlamda ekonomiye dayalı politikaların ve çevresel konuların ele alınmasında önemli bir veri olarak kullanılmaktadır. Arazi kullanım bilgisinin üretilmesi amacıyla farklı spektral, zamansal ve mekansal özelliklere sahip algılayıcılar geliştirilmiştir. Ancak bazı uygulamalarda tek bir algılayıcıdan elde edilen görüntüden bilgi üretmek yeterli olmamaktadır. Farklı mekansal ve spektral çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin birleştirilmesi bilgi üretilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Görüntü birleştirme, aynı bölgeyi kapsayan, aynı ya da farklı algılayıcıya ait, birbirini bütünleyen iki ya da daha fazla görüntüden/spektral banttan daha fazla bilgi elde etmek ve görüntü kalitesini artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışma, SAR verilerinin optik görüntü ile birleştirilmesi sonucu üretilen görüntülerin kalite analizini araştırmaktadır. Bu amaçla iki farklı algılayıcıya ait RADARSAT-1 ve PALSAR görüntüleri SPOT-2 görüntüsü ile birleştirilmiştir. PALSAR ve RADARSAT-1 görüntüleri aynı çözünürlüğe ve polarizasyona sahip olmalarına karşın farklı frekansta elde edilmişlerdir (sırasıyla L-bant ve C-bant). Frekans, penetrasyon derinliğini etkileyen bir etken olduğu için birleştirilmiş görüntülerden bilgi üretilmesinde önemli bir değişken olacaktır. Görüntü birleştirmede IHS (Intensity-Hue-Saturation), HPF (High Pass Frequency), DWT (Discrete Wavelet Transformation) ve PCA (Principal Component Analysis) teknikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İstatistiksel analiz için sapma değeri (bias), korelasyon katsayısı, varyans, standart sapma, UIQI (Universal Image Quality Index) yöntemleri kullanılmıştır. İstatistiksel sonuçlara göre DWT tekniği her iki RADARSAT-SPOT ve PALSAR-SPOT birleştirilmiş görüntüleri için en iyi sonucu vermiştir.

Anahtar Sözcükler: PALSAR, RADARSAT-1, SPOT, Görüntü birleştirme, İstatistiksel analiz

ABSTRACT

FUSION OF SAR IMAGES (PALSAR AND RADARSAT-1) WITH MULTISPECTRAL SPOT IMAGE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF RESULTING IMAGES

Land use information is one of the most useful input element in forming policies concerning to economic, environmental issues at national and also at global levels. With the view of these different spectral, temporal and spatial qualified sensors are developed. On the other hand for some applications single sensor imagery might not be enough to gather information from earth surface. Fusion of satellite images with different spatial and spectral resolutions plays an important role for extracting information. Image fusion is an application for making use of two or more complementary images/spectral bands of the same or different sensors for the same area to get more information and to enhance the quality of image interpretation. This research investigates the quality assessment of SAR data fusion with optical imagery. Two different SAR data from different sensors namely RADARSAT-1 and PALSAR were fused with SPOT-2 data. Although the PALSAR and the RADARSAT-1 images have the same resolutions and polarizations, images were gathered in different frequencies (L band and C band respectively). Particularly in this case the operating frequency is a key factor in the penetration depth to see the affects on extracting information from fused images. This application describes a comparative study of multisensor image fusion techniques in preserving spectral quality of the fused images. IHS (Intensity-Hue-Saturation), HPF (High Pass Frequency), two dimensional DWT (Discrete Wavelet Transformation), and PCA (Principal Component Analysis) techniques are implemented for image fusion. For the statistical analysis bias, correlation coefficient (CC), Difference in Variance (DIV), Standard Deviation Difference (SDD), Universal Image Quality Index (UIQI) methods were applied on fused images. Statistically results depict that DWT fusion technique gives better result for both RADARSAT-SPOT and PALSAR-SPOT fused images.

Keywords: Image fusion, PALSAR, RADARSAT-1, SPOT, Statistical analysis

1. GİRİŞ

Uzaktan algılamada görüntü birleştirme işlemi görüntü kalitesini artırmada sıklıkla kullanılmaktadır. Algılayıcıların farklı spektral ve mekansal özelliklere sahip olmaları, görüntü yorumlamayı kolaylaştırmaktadır (Zhou vd, 1998). Görüntü birleştirme tekniği, pek çok algoritma kullanılarak farklı ya da aynı algılayıcılardan elde edilen görüntüler ile çeşitli uygulamalarda ele alınır.

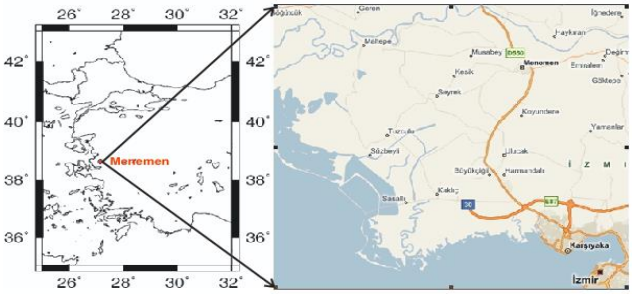
Son yıllarda ENVISAT, ALOS, TERRASAR, RADARSAT-2 gibi yeni SAR uydularının fırlatılması ile uzaktan algılama uygulamalarında yeni bir devir başlamıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda optik ve mikrodalga verilerin birleştirilmesi sonucu elde edilen bilgilerin, sadece optik veya mikrodalga verilerden üretilen bilgiler ile karşılaştırıldığında daha doğru sonuçların elde edildiği belirtilmiştir (Aschbacker ve Lichtenegger, 1990). Optik görüntülerin yüzey yansımasını kaydetmesine karşın radar görüntüleri alım geometrisine ve hedef nesne yapısının bir fonksiyonu olması görüntü kalitesini artırdığı için görüntü birleştirmede önemli parametreler olmuşlardır (Pohl and van Genderen, 1998). IHS (Tsai, 2004), Brovey dönüşümü (Binh vd., 2006), Ana bileşen yöntemi (PCA) (Amarsaikhan ve Douglas, 2004), HPF (Bethune vd., 1998, Aiazzi vd, 2006a), DWT (Zhang ve Hong, 2005, Jin vd, 2006), GST (Gram Schmidt Transformation) (Aiazzi vd, 2006b), SFIM (Smoothing Filter Based Intensity Modulation) (Liu, 2000), SVR (Synthetic Variable Ratio) (Zhang,1999) genellikle kullanılan görüntü birleştirme tekniklerdir.

Farklı tekniklerin karşılaştırıldığı çeşitli çalışmalar yapılmıştır; IHS, PCA, Brovey dönüşümü ve dalgacık dönüşüm yöntemleri en iyi spektral ve mekansal bilgiye sahip görüntü elde etmek için karşılaştırılmıştır (Zhou vd, 1998). IKONOS çok bantlı ve pankromatik görüntüleri ile Quickbird çok bantlı ve pankromatik görüntüleri IHS ve dalgacık dönüşümü yöntemleri birleştirilerek sadece IHS ve sadece dalgacık dönüşüm yöntemi kullanılarak üretilen görüntülerle karşılaştırılmış ve ortaya çıkan renk distorsiyonu giderilmiştir (Zhang ve Hong, 2005). Görüntü birleştirmenin arazi örtü haritasının üretilmesindeki etkisi Colditz vd. (2006) tarafından Brovey dönüşümü, HSV (Hue-Saturation-Value), PCA, MMT (Multi resolution image fsion tecknique), AIF (Adaptive Image Fusion) ve DWT kullanılarak araştırılmıştır. "A tròus" çoklu çözünürlük çözümleme algoritması sınıflandırma doğruluğunu artırmak için kullanılmıştır (Teggi vd, 2003). Shi vd, (2005) çok bantlı dalgacık görüntü birleştirme tekniğinin kalite analizini çalışmışlardır. Ortalama değer (mean), görüntünün ortalama yoğunluğunu belirlemede ve standart sapma, entropi, profil yoğunluk eğrisi birleştirilmiş görüntülerdeki detayları belirlemede kullanılmıştır. Sapma değeri (bias), korelasyon katsayısı analizi orijinal görüntü ve birleştirilmiş görüntü arasındaki spektral bilgideki distorsiyonun belirlenmesi için kullanılmıştır. Bunların dışında UIQI (Universal Image Quality Index) (Wang,2002) ve ERGAS da (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) (Wald, 2002) birleştirilmiş görüntülerin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan diğer değerlerdir.

Görüntü birleştirme yöntemleri SAR ve optik görüntülerden bilgi elde etmek için de kullanılmaktadır. Örneğin L banda sahip JERS-1 SAR görüntüsü ve Landsat TM verileri birleştirilerek yapılan karşılaştırmalı bir analiz ile IHS, PCA, dalgacık dönüşümü ve HPF yöntemleri uygulanmış ve ortalama, standart sapma, korelasyon katsayısı ve entropi faktörleri hesaplanarak birleştirilengörüntüler değerlendirilmiştir (Rokhmatuloh vd, 2003, Shi, 2005). Pal vd. (2007) jeolojik bilgilerin iyileştirilmesi için IRS-1C ve ERS-2 verilerini PCA yöntemi ile birleştirmişlerdir. Bu çalışmada görüntü kalite analizi için çoklu algılayıcı veriler ile değerlendirilmiştir. HH polarizasyona sahip L bant PALSAR ve HH polarizasyonsa sahip C bant RADARSAT-1 görüntüleri çok bantlı SPOT-2 XS görüntüsü ile birleştirilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Gediz Havzasının batısında yer alan İzmir-Menemen ovası çalışma alanı olarak ele alınmıştır. 400 km^2 lik çalışma alnının batısında Ege denizi, kuzeyinde Manisa ili yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı yerleşim ile birlikte tarım alanlarını da kapsamaktadır. Mikro rölyefe sahip alanda eğim yaklaşık %1 dir. Bölgede tüm tarım ürünleri yetişmektedir ancak pamuk, buğday, mısır, arpa ve üzüm yetiştirilen temel ürünlerdir. Doku ve eğim, SAR geri saçılımını etkileyen önemli toprak karakteristik özellikleridir.



Şekil 1: Menemen ovası

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Veriler

Çalışmada farklı algılayıcılardan elde edilmiş iki farklı SAR görüntüsü RADARSAT-1 ve PALSAR ile SPOT-2 görüntüsü kullanılmıştır (Tablo 1). RADARSAT-1 ve PALSAR görüntüleri aynı mekansal çözünürlüğe ve polarizasyona sahip olmalarına karşın farklı frekanslara sahiptirler (sırasıyla C bant ve L bant). Farklı dalga uzunluğuna sahip bantlar (C bant-5,6 cm, L bant- 23 cm) farklı davranışlarda bulunacağı için bu çalışmada frekans değerleri anahtar faktör olarak ele alınmıştır. HH polarizasyona sahip L bant PALSAR ve HH polarizasyona sahip C bant RADARSAT-1 görüntüsü 20 m. mekansal çözünürlüğe sahip çok bantlı SPOT-2 görüntüsü ile birleştirilmiştir. Yeni fırlatılan ALOS (Advanced Land Observing Satellite) uydusuna ait PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) mikrodalga algılayıcısı yüksek mekansal çözünürlüğe sahiptir. Bu çalışmada PALSAR algılayıcısına ait FBS (fine single polarized) ışın modunda alınmış 6.25 m x 6.25 m piksel çözünürlüğe sahip SAR görüntüsü ile yine 6.25 m x 6.25 m piksel çözünürlüğüne sahip F1 (Fine Beam 1) ışın modunda alınmış RADARSAT-1 görüntüsü kullanılmıştır.

	RADARSAT-1	**PALSAR**	**SPOT-2**
Veri	28/05/2006	10/06/2006	14 /05/2006
Algılayıcı	SAR F1	PALSAR/FBS	HRV/HRG
Piksel çözünürlüğü	6,25 m.	6,25 m.	20 m.
Orbit	55139	2010	
Uçuş Yönü	Yükselen yörünge	Yükselen yörünge	
Polarizasyon	H/H	H/H	
Alım genişliği	50 km.	80 km.	60 km.
Geliş açısı	37-40	41,5	L29,6

Tablo 1: Veri bilgileri

3.2 Görüntü ön işleme

Görüntü birleştirme işlemi yapılmadan önce SAR görüntülerinde oluşan gürültülerin giderilmesi için filtre kullanılmıştır. 3x3 piksel penceresine sahip Gamma filtresi her iki SAR görüntüsüne de uygulanmıştır. Bu çalışmada piksel tabanlı görüntü birleştirme yöntemi ele alınmıştır. Görüntü birleştirmede geometrik doğruluk önemli olduğu için mekansal birleştirme işlemlerinde hatadan kaçınmak amacıyla görüntüler bir pikselin altında bir hata ile geometrik olarak düzeltilmiştir. SAR görüntüleri filtreleme işlemlerinden sonra SPOT görüntüsüne göre görüntüden görüntüye yöneltme işlemi ile geometrik olarak düzeltilmiştir.

3.3 Görüntü İşleme Yöntemleri

Bu çalışmada dört farklı görüntü birleştirme yöntemi kullanılmıştır; IHS (Intensity-Hue-Saturation), PCA (Principal Component Analysis), DWT (Discrete Wavelet Transformation) ve HPF (High Pass Filter).

IHS yöntemi, kırmızı, yeşil ve mavi (KYM) banttaki uydu görüntüsünü yoğunluk, renk, doygunluk bileşenlerine ayırır. Çok bantlı görüntünün üç bantının KYM renk bilgilerini IHS renk bilgilerine dönüştürür. Mekansal frekans olan yoğunluk bileşeni yerine yüksek çözünürlüklü görüntü yerleştirilir ve IHS görüntüsü tekrar KYM görüntüsüne dönüştürülür (Pohl ve Van Genderen, 1998).

PCA dönüşümü çok değişkenli ve aralarında yüksek korelasyon olan verileri, aralarında korelasyon olmayan yeni bir veri kombinasyonuna dönüştürür (Pohl ve Van Genderen, 1998, Teggi vd, 2003). IHS ve PCA arasında ki en önemli fark ise IHS dönüşümüne sadece üç bant kullanılırken PCA dönüşümünde üçten fazla band kullanılabilmesidir.

Dalgacık dönüşümü (DWT), yüksek çözünürlüklü bir görüntüyü dört parçaya ayırır, bunlardan üçü yüksek frekansa, biri de düşük frekansa sahiptir. Çok bantlı görüntü yüksek çözünürlüklü görüntünün düşük frekanslı parçasına örneklenir. Dalgacık dönüşümü uygulanmış düşük frekanslı görüntü örneklenmiş çok bantlı görüntü yerine yerleştirilir. Dalgacık dönüşümünün tersi üç yeni görüntü için uygulanarak bir görüntüde birleştirilir.

Birleştirilmiş görüntü yüksek mekansal çözünürlük ile birlikte çoklu bandın spektral bilgisini de taşır (Shi vd, 2005).

HPF yöntemi bant ekleme yaklaşımını kullanarak hem spektral hem de mekansal bilgileri birleştirir. Bu yöntem yüksek çözünürlüklü görüntünün kenar bilgisini çıkararak düşük çözürlüklü kanala piksek piksel ekleyerek bant ekleme yaklaşımını kullanır. Yüksek çözünürlüklü görüntünün yüksek frekans bileşeni mekansal bilgiyi taşır. Yüksek mekansal çözünürlüğe sahip görüntüye HPF uygulanır. Çok bantlı görüntü HPF uygulanmış görüntüye örneklenir ve yüksek geçirgenli filtre uygulanmış görüntü çok bantlı görüntüye eklenir (Bethune vd, 1998).

Uygulamada ön işlemden geçirilmiş görüntüler kullanılmıştır. Üç bantlı SPOT görüntüsü RADARSAT-1 ve PALSAR görüntüleri il birleştirilmiştir. Sonuç ürün olan birleştirilmiş görüntüler 8m. x 8m. yüksek çözünürlüğe sahip SAR görüntülerin piksel boyutuna örneklenmiştir.

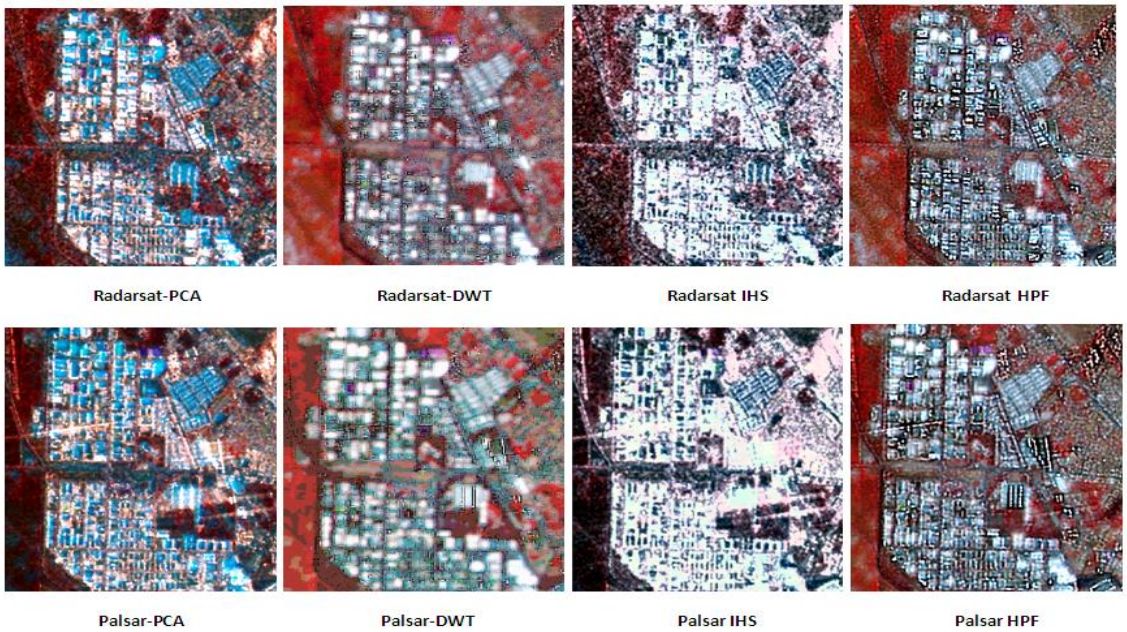
3.4 Kalite Analizi

Birleştirilmiş görüntülerin iyileştirilmiş spektral kalitesini değerlendirmek için çok bantlı SPOT görüntüsü birleştirilmiş sonuç ürünler ile karşılaştırılmıştır. Değerlendirme her bir PALSAR-SPOT ve RADARSAT-SPOT birleştirilmiş görüntüler için yapılmıştır. Görüntü yorumlama kapasiteleri, orijinal SPOT görüntüsü ve her bir birleştirilmiş görüntü arasındaki spektral ilişki görüntü birleştirmenin kalitesini değerlendirmek için karşılaştırılmıştır. Bu amaçla sapma değeri, korelasyon katsayısı (CC), varyans (DIV), standart sapma (SDD) ve UIQI değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

3.4.1 Görsel Karşılaştırma

Görsel karşılaştırma için birleştirilmiş görüntüler çok bantlı SPOT görüntüsü ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Şekil 3'de farklı yöntemlerle birleştirilen PALSAR-SPOT ve RADARSAT-SPOT görülmektedir. Mekansal çözünürlüğün kalitesi tarla sınırları, yollar ve binalar gibi detaylar karşılaştırılarak yapılmıştır. Şehir alanlarında HPF görüntüsünde daha fazla detay seçilebilmektedir. Renk bilgisi yönünden karşılaştırıldığında çok bantlı SPOT görüntüsü HPF ve DWT birleştirilmiş görüntülere daha fazla benzemektedir. IHS yöntemi ile üretilen birleştirilmiş görüntü hem PALSAR hem de RADARSAT görüntülerinde en kötü sonucu vermiştir. Binalar, yollar ve sınırlar PALSAR ile birleştirilmiş görüntülerde RADARSAT ile birleştirilmiş görüntülere göre daha iyi ayırt edilebilmektedir.

Şekil 2: SPOT XS



Şekil 3: Birleştirilmiş görüntüler

3.4.2 İstatistiksel Değerlendirme

Bu çalışmada HH polarizasyonlu L banda sahip bir PALSAR ve yine HH polarizasyonlu C banda sahip bir RADARSAT-1görüntüsü üç bantlı bir SPOT XS görüntüsü ile birleştirilmiştir. Kalite analizinin değerlendirilmesi çok algılayıcılı veri için yapılmıştır. Görüntü birleştirme tekniklerinin spektral kalite üzerine etkisini değerlendirmek için SPOT XS görüntüsü üretilen 8 görüntü ile karşılaştırılmıştır. Sapma, CC, DIV, SDD, UIQI istatistiksel değerleri IHS, PCA, DWT ve HPF yöntemleri ile üretilen sonuç görüntüler için hesaplanmıştır (Tablo 2 ve Tablo 3). Tablolardan da görüldüğü gibi en iyi sonucu hem RADARSAT hem de PALSAR görüntüleri HPF ve DWT sonuç görüntüleri vermiştir. İstatistiksel sonuçlar PALSAR-SPOT birleştirilmiş görüntüde HPF yönteminin, buna karşın RADARSAT-SPOT birleştirilmiş görüntüde DWT yönteminin daha iyi olduğunu göstermiştir. Tüm sonuç görüntüler arasında en kötü değeri IHS yöntemi hem RADARSAT hem de PALSAR için vermiştir.

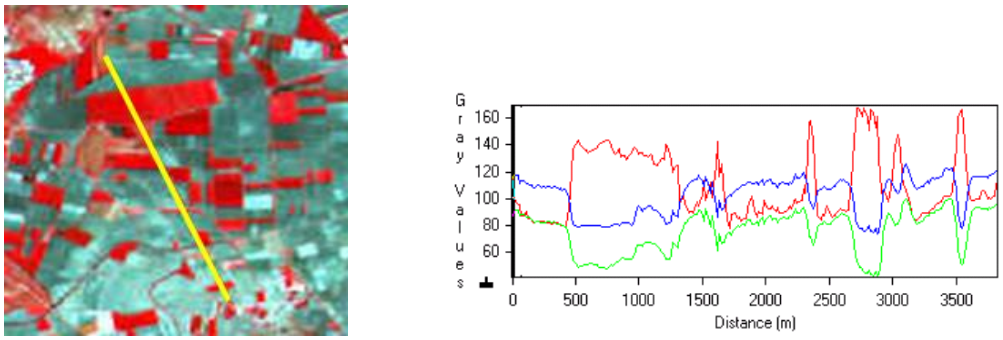
Palsar	Bias %	DIV %	SDD %	CC	UIQI
HPF	0.73	12.16	3.08	0.933	0.931
	0.72	9.88	1.66	0.902	0.900
	0.51	10.38	1.08	0.886	0.884
PCA	0.82	48.12	13.71	0.449	0.425
	0.12	28.81	4.76	0.611	0.603
	0.04	19.39	2.07	0.735	0.730
IHS	22.19	-155.63	-29.35	0.644	0.561
	28.93	-457.72	-44.29	0.310	0.210
	20.74	-524.63	-30.32	0.199	0.133
DWT	-9.13	59.92	17.98	0.616	0.554
	-0.88	27.87	4.94	0.761	0.750
	0.11	19.17	2.04	0.777	0.772

Tablo 2: PALSAR-SPOT birleştirilmiş görüntülerin istatistiksel sonuçları

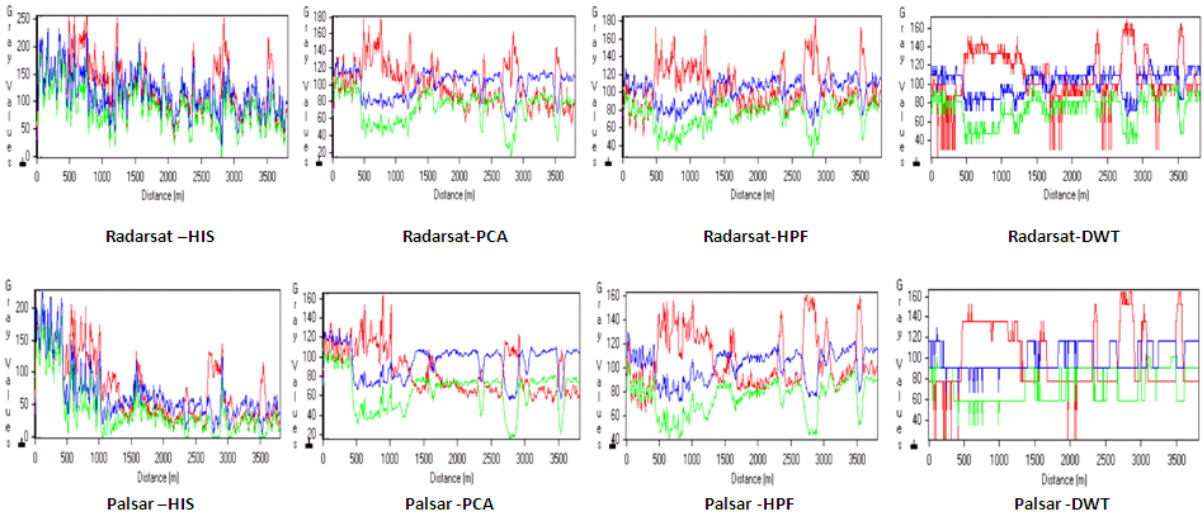
Radarsat	Bias %	DIV %	SDD %	CC	UIQI
HPF	0.66	9.32	2.34	0.915	0,913
	0.7	6.94	1.16	0.884	0,883
	0.5	7.6	0.79	0.868	0,867
PCA	0.71	27.58	7.3	0.647	0,638
	0.09	21.95	3.82	0.714	0,708
	0.03	19.25	2.05	0.796	0,791
IHS	1.84	-198.07	-35.61	0.774	0,671
	8.39	-522.62	-49.02	0.458	0,315
	6.84	-581.66	-32.57	0.308	0,205
DWT	0.6	-2.1	-0.51	0.938	0,937
	0.12	2.31	0.38	0.915	0,914
	-0.07	4.02	0.41	0.897	0,896

Tablo 3: RADARSAT-SPOT birleştirilmiş görüntülerin istatistiksel sonuçları

Tarım alanları için görüntüden alınan kesit ile spektral analiz yapılmıştır. SPOT görüntüsünden alınan kesite ait spektral değerler (Şekil 4), birleştirilmiş görüntüler ile karşılaştırılmıştır. Tarım alanları için en iyi sonucu HPF birleştirilmiş PALSAR-SPOT görüntüsü vermiştir (Şekil 5).



Şekil 4: SPOT üzerinde alınan kesit ve spektral analizi



Şekil 5: Birleştirilmiş görüntülerin spektral analizi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı en iyi görüntü birleştirme tekniğini seçmek ve görüntü birleştirme işleminde SAR bileşenlerini karşılaştırmaktır. Sadece penetrasyon etkisini belirleyebilmek için aynı polarizasyonda ve farklı bant özelliklerine (L bant ve C bant) sahip görüntüler (PALSAR ve RADARSAT-1) kullanılmıştır. Bulgularda hem görsel hem de istatistiksel açıdan HPF ve DWT birleştirilmiş görüntülerin hem RADARSAT hem de PALSAR görüntüleri için benzer sonuçları verdiği gözlenmiştir. IHS tekniği ise her iki SAR görüntüsü için en kötü sonucu vermiştir. Tarım alanları için en iyi sonuç HPF görüntü birleştirme yöntemi ile elde dilmiş PALSAR-SPOT sonuç görüntüsü vermiştir. Bir sonraki çalışmada görüntü birleştirmenin görüntü sınıflandırma doğruluğuna etkisi araştırılacaktır.

KAYNAKLAR

AIAZZI, B.; BARONTI, S.; ALPARONE, L.; GARZELLI, A.; NENCINI, F. (2006a), "Information-Theoretic Assessment of Fusion of Multispectral and Panchromatic Images", *Information Fusion, 2006 9th International Conference,* July 2006, pp. 1-5.

AIAZZI, B.; BARONTI, S.; SELVA, M.; **ALPARONE, L.** (2006b), "Enhanced Gram-Schmidt Spectral Sharpening Based on Multivariate Regression of MS and Pan Data", *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on*, July 31 2006-Aug. 4 2006 pp. 3806 – 3809.
AMARSAIKHAN, D.; DOUGLAS, T. (2004), "Data fusion and multisource image classification", *International Journal of Remote Sensing*, 10 September, vol. 25, no. 17, pp. 3529-3539.

ASCHBACHER, J.; LICHTENEGGER, J. (1990), "Complementary nature of SAR and optical data: a case study in the Tropics", *Earth Observation Quarterly*, vol.31, pp.4-8.

BETHUNE, S.; MULLER, F.; DONNAY J.P. (1998), "Fusion of multispectral and panchromatic images by local mean and variance matching filtering techniques", *Fusion of Earth Data*, Sophia Antipolis, France, 28-30 Jan 1998.

BINH, D.T.; CHRISTIANE, W.; AZIZ, S.; DOMINIQUE, B.; VANCU, P. (2006), "Data fusion and texture-direction analyses for urban studies in Vietnam", *1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing* Humboldt Universität zu Berlin, 2-3 March 2006.

COLDITZ, R.R.; WEHRMANN, T.; BACHMANN, M.; STEINNOCHER, K.; SCHMIDT, M.; STRUNZ, G.; DECH, S. (2006), "Influence of image fusion approaches on classification accuracy: a case study", *International Journal of Remote Sensing,* vol. 27, No. 15, 10 August 2006, pp. 3311–3335.

JIN, Y.; RULIANG, Y.; RUOHONG, H. (2006), "Pixel level fusion for multiple SAR images using PCA and wavelet transform", *Radar, 2006. CIE '06. International Conference,* pp. 1-4, Oct. 2006.

LIU, J.G. (2000), "Smoothing Filter-based intensity modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, pp. 3461–3472.

PAL, S.K; MAJUMDAR, T.J.; BHATTACHARYA, A.K. (2007), "ERS-2 SAR and IRS-1C LISS III data fusion: A PCA approach to improve remote sensing based geological interpretation", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,* vol.61, no. 5 pp. 281–297.

POHL, C.; VAN GENDEREN. J.L. (1998), "Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications", *International Journal of Remote Sensing*, vol.19, no.5, pp.823-854, Mar. 1998.

ROKHMATULOH, TATEISHI, R.; WIKANTIKA, K.; MUNADI, K.; ASLAM, M. (2003), "Study on the spectral quality preservation derived from multisensor image fusion techniques between JERS-1 SAR and Landsat TM data", *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 03 Proceedings IEEE International,* vol. 6, 21-25 July 2003, pp. 3656 – 3658.

SHI, W., ZHU, C. O., TIAN, Y, NICHOL, J. (2005), "Wavelet-based image fusion and quality assessment", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 6, pp. 241–251.

TEGGI, S.; CECCHI, R.; SERAFINI, F. (2003), "TM and IRS-1C-PAN data fusion using multiresolution decomposition methods based on the 'a tròus' algorithm", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, no. 6, pp. 1287–1301.

TSAI, V.J.D. (2004), "Evaluation of Multiresolution Image Fusion Algorithms", *Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS '04 Proceedings, 2004 IEEE International*, vol. 1, 20-24 Sept. 2004, pp.621–624.

WALD, L. (2002), "Data Fusion: Definitions and Architectures-Fusion of Images of different Spatial Resolutions", Ecole des Mines de Paris.

WANG, Z. (2002), "A Universal Image Quality Index", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 9, no. 3, pp. 1–4.

ZHANG Y. (1999), "A new merging method and its spectral and spatial effects", International *Journal of Remote Sensing*, vol. 20, no.10 pp. 2003-2014.

ZHANG, Y.; HONG, G. (2005), "An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images", *Information Fusion*, vol. 6 (2005), pp. 225–234.

ZHOU, J.; CIVCO, D. L.; SILANDER, J. A. (1998), "A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, no. 4, pp. 743–757.