

Hiperspektral ve pankromatik uydu görüntülerinin birleştirilmesi: Görsel ve İstatistiksel Analiz

Müfit ÇETİN^{1*}, Nebiye MUSAOĞLU²

¹ Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli

² İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Veri birleştirme algoritmalarında girdi olarak kullanılan Landsat ETM+/SPOT PAN, SPOT XS/PAN, IKONOS MS/PAN gibi çok kanallı ve pankromatik verilerin spektral çözünürlüklerinin oranları genellikle küçüktür. Bu çalışmada, yüksek spektral çözünürlüğe sahip hiperspektral verilerle yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik görüntüler IHS (Intensity-Hue-Saturation), PCS (Principal Components Substitution), GST (Gram Schmidt Transformation), SFIM (Smoothing Filter-Based Intensity Modulation) ve DCW (Discrete wavelet transform) yöntemleri ile birleştirilerek sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca, veri kaynaklarının spektral çözünürlükleri arasındaki oranın büyük olmasının birleştirilmiş görüntünün kalitesine etkisi incelenmiştir. Çalışmada hiperspektral veri olarak EO1- Hyperion görüntüsünün EO-1 ALI PAN ile örtüşen spektral aralığındaki bantlar (14-33) girdi olarak kullanılmıştır. Birleştirilmiş görüntüdeki spektral ve geometrik özellikler istatistiksel ve görsel yönden incelenmiştir. İstatistiksel yönden değerlendirmede, sapma değeri (bias), standart sapma, korelasyon katsayısı, ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) ve UIQI (Universal Image Quality Index) değerleri kullanılmıştır. Görsel ve istatistiksel değerlendirmeler Hyperion / ALI PAN birleştirmesinde DCW ve SFIM algoritmalarının en iyi sonucu verdiğini göstermektedir. Pankromatik görüntü ile hiperspektral görüntünün birleştirilmesi ve çok bantlı görüntü ile pankromatik görüntünün birleştirilmesinden elde edilen verilerin kalitelerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca UIQI sonuçları, birleştirilmiş hyperion görüntülerinde yüksek dalga boyuna sahip bantların düşük dalga boyundaki bantlara göre orijinal görüntüye daha yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri birleştirme, hiperspektral, istatistiksel analiz, EO1- Hyperion, EO1-ALI PAN.

Merging hyperspectral and panchromatic image data: Qualitative and quantitative analysis

Abstract

Up to now in data fusion application, the ratio of spectral resolution between the source images for data fusion is usually small (lower than 3) between multispectral and panchromatic images such as Landsat ETM+ and SPOT PAN, SPOT XS/PAN, IKONOS MS/PAN data sets. This paper assesses whether the hyperspectral images can be fused with the high resolution panchromatic image using the most common algorithms including IHS (Intensity-Hue-Saturation), PCS (Principal Components Substitution), GST (Gram Schmidt Transformation), SFIM (Smoothing Filter-Based Intensity Modulation) and DCW (Discrete wavelet transform). Also it is examined the larger ratio of spectral resolution between resources image have effect on the quality of the fused image. In order to fit the spectral range of images, the bands number 14-33 of EO1-Hyperion image were selected to fit the spectral range of the EO1-ALI PAN image. The fusion results of the panchromatic and hyperspectral images are compared with original images. Some qualitative and quantitative values measured including bias, standard deviation, correlation coefficient, ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) and universal image quality index (UIQI) are applied through the five methods to assess the spatial and spectral effects on fused EO-1 Hyperion image. The visual interpretation and statistical results shows that the fusion for Hyperion \ ALI PAN using the DCW and SFIM algorithms produces best fused images. The universal image quality index for the fused hyperion image show that bands are higher wavelength has better results than lower bands.

Keywords: Data fusion, hyperspectral, statistical analyses, EO1- Hyperion, EO1-ALI PAN.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Müfit ÇETİN mcetin@gyte.edu.tr; Tel: (262) 605 31 59

Giriş

Uydu görüntüleri sağladığı olanaklarla birçok bilim dalı için önemli veri ve bilgi kaynağı oluşturmaktadır. Ancak büyük ölçekli çalışmalar için çözünürlük açısından henüz istenilen düzeye ulaşamamıştır. Yeryüzündeki objeleri detaylı bir şekilde tanımlamak için yüksek çözünürlüklü görüntülere ihtiyaç vardır. Çok bantlı görüntüler düşük mekânsal çözünürlük sağlamalarına rağmen farklı objelerin fiziksel özelliklerinin ayırt edilmesine olanak sağlamaktadır. Pankromatik olarak kaydedilen görüntüler ise spektral çözünürlükleri düşük olmasına rağmen sağladıkları yüksek mekânsal çözünürlükle objelerin detaylı geometri bilgisini verirler. Çok bantlı ve pankromatik görüntülerin tek tek değerlendirilmesiyle elde edilecek bilgi düzeyini arttırmak amacıyla her iki veriden, her iki verinin de avantajlarını birleştiren yeni bir veri seti oluşturma yoluna gidilmiştir. Literatürde görüntü birleştirmeye yönelik birçok yöntemden bahsedilmiştir. En yaygın olarak kullanılan görüntü birleştirme algoritmalarını üç sınıfa ayırabiliriz: (1) IHS (Intensity-Hue-Saturation (Carper vd. 1990)), PCS (Principal Components Substitution (Göpfert, 1987)) ve GTS (Gram Schmidt Transformation) gibi orijinal veri setinin birinin diğerine projeksiyonunu sağladıktan sonra yüksek çözünürlüklü verinin bileşenlerden birinin yerine konularak geri dönüşüm ile birleştirilmiş veri seti oluşturmaya dayanan projeksiyon ve yerine geçme yöntemleri; (2) Brovey (Vrabel, 1996), SVR (Synthetic Variable Ratio, Munechika, 1993) ve SFIM (Smoothing Filter-Based Intensity Modulation (Liu, 1998)) gibi bant oranlaması ve aritmetik kombinasyon yöntemleri; (3) HPF ve Dalgacık dönüşümü gibi pankromatik görüntüye ait yüksek frekanslı mekânsal verinin çok kanallı veri ile bütünleştirilmesine dayalı veri birleştirme yöntemleri.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, çok kanallı veriler (LANDSAT TM/SPOT PAN, SPOT XS/PAN, IKONOS MS/PAN vb.) ile pankromatik verilerin birleştirilmesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise spektral çözünürlüklerinin birbirine oranı çok daha yüksek olan EO1- Hyperion/ALI-PAN veri setleri kullanılarak, en yaygın görüntü birleştirme teknikleri (IHS, PCS, GST, SFIM and DCW) ile elde edilen birleştirilmiş hiperspektral görüntünün spektral kalitesi görsel ve istatistiksel yönden incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer veri seti olan EO1-ALI MS/PAN görüntüleri kullanılarak birleştirilmiş görüntü ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanı

Araştırma alanı Eskişehir ilinin kuzeyinde 31° 09' ve 31° 16' Doğu boylamı ile 39° 54' ve 40° 04' Kuzey enlemleri arasında yer alıp, çoğunluğunu orman ve tarım alanlarının bulunduğu farklı arazi örtü tiplerini içermektedir.

Uydu Görüntüleri

Günümüzde, görüntü birleştirme uygulamalarında kullanılan en yaygın uydu veri setleri Landsat TM (MS) ve SPOT PAN, SPOT XS/PAN, IKONOS MS/PAN görüntüleridir (Yocky, 1996; Sunar 1998; Nu'n~ez vd. 1999; Li vd., 2002; Ranchin vd., 2003). Bu çalışmada ise EO1 uydusunun farklı algılayıcılarından elde edilen hiperspektral ve pankromatik görüntüler kullanılmıştır.

NASA Yer Gözlem Uydusu EO-1 (Earth Observing-1), 21 Kasım 2000 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. EO1 Uydusu ALI (Advanced Land Imager), Hyperion ve Linear Etalon Imaging Spectrometer Array (LEISA) Atmospheric Corrector (LAC) olmak üzere üç algılayıcıya sahiptir. Hyperion algılayıcısı ise 7.7 km genişliğinde ve 30 m uzaysal çözünürlükte ve 16 bit radyometrik çözünürlükte tarama yapar. Hyperion algılayıcısı 10 nm aralıklara 357-2576 nm aralığında 242 kanala sahiptir. ALI algılayıcısı 37 km şerit genişliğinde çok bantlı görüntü için 30 m ve tek bantlı pankromatik görüntü için 10 m. uzaysal çözünürlükte ve 16 bit radyometrik çözünürlükte tarama yapar. ALI algılayıcısı Landsat7 ETM+ algılayıcısı ile aynı bantlara sahiptir. Aralarındaki en

önemli fark ALI algılayıcısının SPOT algılayıcısı gibi algılayıcının hareket yönünde tarama yapmasıdır. Ayrıca Landsat7 ETM+’a göre daha fazla kanala sahiptir. Bunlar ETM+’ın birinci kanalından daha kısa dalga boyuna sahip su kalitesi üzerine çalışmada kullanılmak üzere tasarlanan ALI’nin birinci bantı, ETM+ 4. ve 5. bantları arasına karşılık gelen ve sınıflandırma çalışmalarında daha iyi bir performans sağlayacağı ve atmosferik etkiden daha az etkileneceği düşünülerek tasarlanan ALI’nin 6. ve 7. bantlarıdır. Uydu verilerinin genel özellikleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1: Uydu verilerinin özellikleri

Algılayıcı	Uzaysal Çözünürlük (m)	Spektral Genişlik (nm)	Bant Sayısı
EO-1 Hyperion	30	356-2577	242
EO-1 ALI MS	30	433-453, 450-515, 525-605, 630-690, 775-805, 845-890, 1200-1300, 1550-1750, 2080-2350	9
EO-1 ALI PAN	10	480-690	1

Yöntem

Uydu görüntülerinin birleştirilmesi 5 farklı grupta değerlendirilebilir.

- Farklı spektral çözünürlükteki verilerin birleştirilmesi
- Farklı mekânsal çözünürlükteki görüntülerin birleştirilmesi
- Farklı algılayıcılardan elde edilmiş görüntülerin birleştirilmesi
- Farklı tarihlerde algılanmış görüntülerin birleştirilmesi
- Uydu görüntüleri ile tamamlayıcı verilerin (sayısal arazi modeli, vektör veriler vb.) birleştirilmesi

Tüm bu işlemler aynı uydudaki farklı algılayıcılar (SPOT XS ve PAN vb.) için uygulanabileceği gibi farklı uydulardaki algılayıcılar (LANDSAT TM ve ERS SAR vb.) için de uygulanabilir. Aynı algılayıcıdan ve aynı anda algılanmış verilerin birleştirilmesi, algılama koşulları aynı olduğundan elde edilecek sonucun doğruluğunu arttıracaktır. Ayrıca diğer önemli bir adım da geometrik dönüşümün yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesidir.

Bu çalışmada kullanılan veri birleştirme yöntemleri aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

IHS yöntemi

Düşük çözünürlüklü görüntüye IHS dönüşümü uygulanarak elde edilen yeni görüntünün şiddet (Intensity) bileşeninin yerine yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntüsü eklenip, geri IHS dönüşümü uygulanarak birleştirilmiş görüntü elde edilir (Ehlers, 1991; Harris, 1990).

SFIM yöntemi

SFIM (Smoothing Filter-Based Intensity Modulation) yeryüzünün spektral yansımaları ve güneş ışınlarının radyasyonu prensibine göre geliştirilmiştir (Liu, 2000). Bu nedenle, SFIM yöntemi özellikle farklı zamanlarda alınmış görüntülerin birleştirilmesi için uygun değildir. SFIM algoritması şöyle tanımlanmıştır:

$$M^* = \frac{MS_L * PAN_h}{PAN_L} \quad (1)$$

MS_L düşük çözünürlüklü uydu görüntüsüne ait piksel değeri, PAN_H yüksek çözünürlükteki pankromatik görüntüsüne ait piksel değeri, PAN_L yüksek çözünürlükteki pankromatik görüntüsüne alçak geçirgen filtre uygulanarak elde edilmiş pankromatik görüntü.

PCS yöntemi

En büyük bileşenler dönüşümü (PCA) kullanılarak elde edilen yeni düşük çözünürlüklü görüntünün ilk bileşeninin yerine yüksek çözünürlüklü görüntü eklenerek ters dönüşüm işlemi ile birleştirilmiş görüntü elde edilir (Chavez, 1991; Li, 2002).

Gram – Schmidt Dönüşümü (GST)

Çok bantlı görüntüden elde edilen düşük çözünürlüklü pankromatik görüntü orijinal görüntüye ilk bant olarak eklenip oluşturulan yeni görüntüye GST dönüşümü uygulanır. Dönüşüm sonucunda elde edilen ilk bantın yerine orijinal yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü eklenerek ters dönüşüm işlemi yapılarak birleştirilmiş görüntü elde edilir (Gong, 2001).

Dalgacık Dönüşümü (Discrete wavelet transform (DWT))

Dalgacık dönüşümü ile görüntü birleştirme son yapılan araştırmalarda en çok konu olan yöntemdir (Yocky, 1996, Bruno vd., 1996, Nunez vd.,1999, Sun vd., 1998, Ranchin ve Wald, 2000, Simone vd., 2002). Dalgacık dönüşümünün diğer yöntemlerden farkı, orijinal görüntüyü farklı çözünürlükteki görüntülere ayrıştırılabilme imkânı sağlamasıdır. Öyle ki oluşan yeni görüntülerden tekrar orijinal görüntüyü elde etmek mümkündür.

Öncelikle düşük çözünürlükteki orijinal görüntüye ait her bant için histogram eşitleme yöntemi kullanılarak yeni pankromatik görüntüler elde edilmektedir. Yeni oluşan her pan görüntüsü dalgacık dönüşümü ile biri düşük çözünürlüklü, diğer üçü detay bilgisini içeren bantlar olmak üzere yeni dört pan görüntü elde edilmektedir. Bu ayrıştırma işlemi görüntüler arasındaki mekânsal çözünürlük katsayısına bağlı olarak devam etmektedir. Dalgacık dönüşümü ile elde edilen düşük çözünürlükteki pankromatik görüntü yerine orijinal düşük çözünürlüklü görüntü eklenerek ters dalgacık dönüşümü uygulanarak birleştirilmiş yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmektedir (Garguet-Dupont, 1996; Zhou 1998; Zang 2005; Shi, 2005).

Veri analizi

Birleştirilmiş görüntülerden beklenen, çok bantlı görüntünün spektral bilgisi ile pankromatik verinin geometri bilgisini bir arada taşımasıdır. Birleştirilmiş veri setleri görsel ve istatistiksel analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Farklı veri gruplarının birleştirilmesiyle oluşan görüntülerin kalitesini belirleyen birçok etken vardır. Bu etkenler, kullanılacak veri setinin farklı zamanda algılanması, görüntülerin geometrik düzeltmesinin yeterince hassas yapılmaması, kaynak görüntülerin mekânsal çözünürlük oranlarının çok büyük olması veya spektral bant aralıklarının birbiri ile örtüşmemesi olarak sıralanabilir (Li, 2002). Bunların haricinde birleştirilmiş verinin kalitesi, çalışılan alanın coğrafik yeri veya doku yapısı, kullanılan görüntü ve algoritmaya göre de değişmektedir (Chavez vd., 1991; Tapiador, 2003). Bütün bu şartlar dikkate alınarak hiperspektral görüntünün birleştirilmesinde bu etkiler minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Bunun için aynı zamanda ve aynı uydudan alınmış, yüksek çözünürlüklü EO-1 ALI PAN görüntüsü ile aynı spektral aralıklara sahip EO-1 Hyperion (orijinal görüntüye ait 14. ve 33. bantları arası), EO1-ALI MS (orijinal görüntüye ait 2. ve 4. bantları arası) görüntüleri olmak üzere iki adet veri seti oluşturularak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Birleştirilmiş görüntülerin kalitesinin değerlendirilmesinde istatistiksel değerlendirme en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada Wald vd. 1997 ve 2002'de önerilen yöntem

kullanılmıştır. Bu yöntem, birleştirilmiş görüntünün orijinal çok kanallı görüntünün çözünürlüğüne örneklenerek, orijinal çok kanallı ve pankromatik görüntülerle karşılaştırılması esasına dayanmaktadır.

Görüntü ön işleme

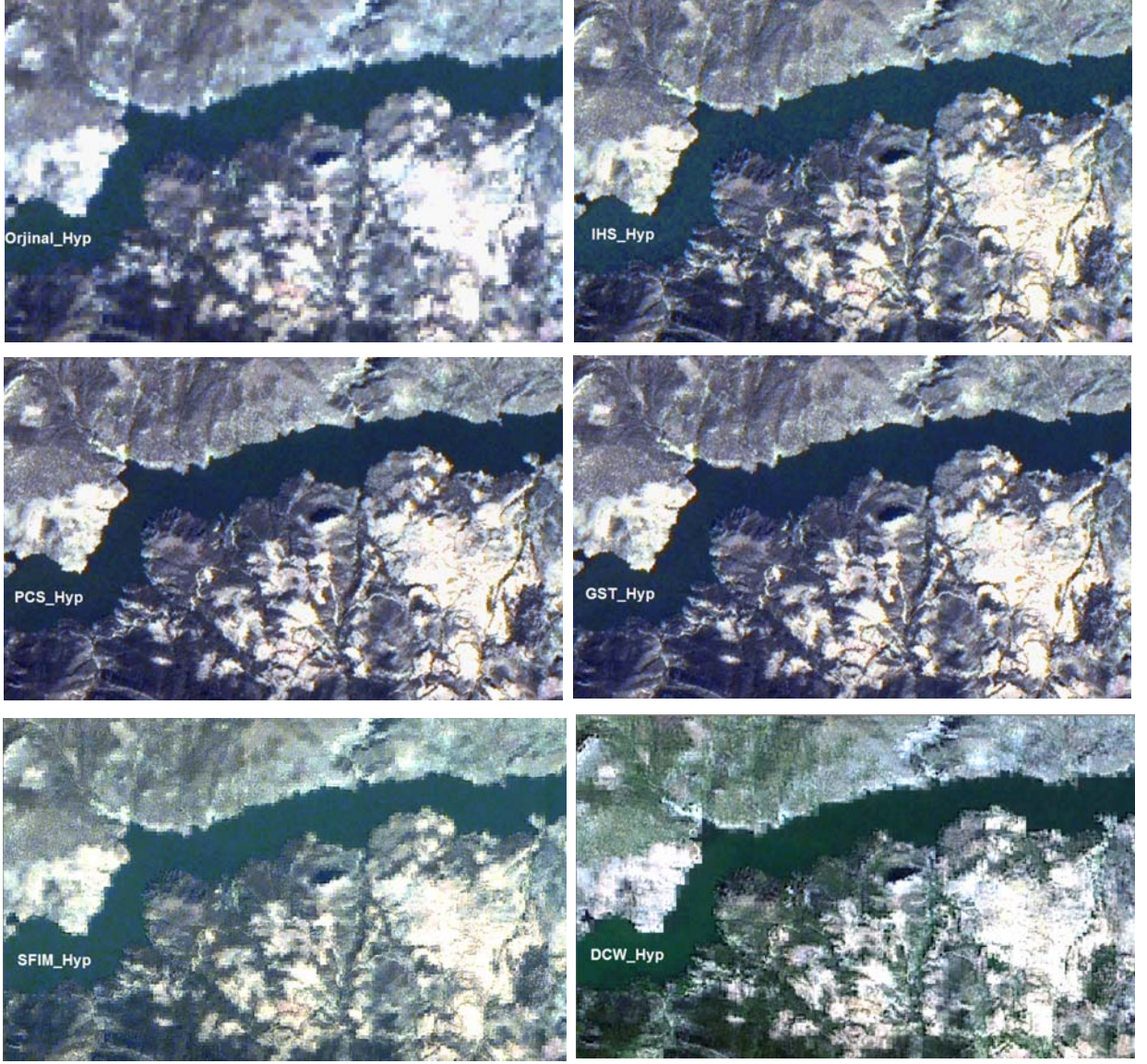
Çalışmanın amacı doğrultusunda sonuçların atmosferik ve topoğrafik düzeltmelerden etkilenmemesi ve görüntülerin aynı uydudan alınması nedeniyle, görüntülere sadece radyometrik ve geometrik düzeltme olmak üzere iki aşamalı ön işleme uygulanmıştır. (1)Hyperion görüntüsündeki sıfır değerine sahip kalibre edilmemiş bantlar ile çok gürültülü bantlar elimine edilmiştir. ALI ve Hyperion görüntülerindeki şerit tarama hataları tespit edilerek komşu piksellerin ortalaması alınarak düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hyperion görüntüsünün her bantını oluşturan 256 adet dedektör normal olarak aynı spektral bant merkezine bağlı olarak tarama yapması gerekirken, dedektörler arasındaki kalibrasyon hataları nedeniyle oluşan spektral bant merkez kayıklıkları tespit edilerek düzeltme getirilmiştir. (2) ALI MS/PAN görüntülerinin piksel bazlı mozaiği oluşturulmuştur. Bu aşamada, öncelikle ALI PAN görüntüsü topoğrafik haritalar ve arazi çalışmaları ile elde edilen yer kontrol noktaları ve sayısal yükseklik verisi kullanılarak UTM projeksiyon sisteminde En Yakın Komşuluk örnekleme yöntemi uygulanarak 0.55 karesel ortalama hata (RMS) ile ortorektifiye edilmiştir. Hyperion ve ALI MS görüntüleri de bu görüntü baz alınarak sırasıyla 0.51 ve 0.55 karesel ortalama hata ile ortorektifiye edilmiştir.

Görsel yorumlama

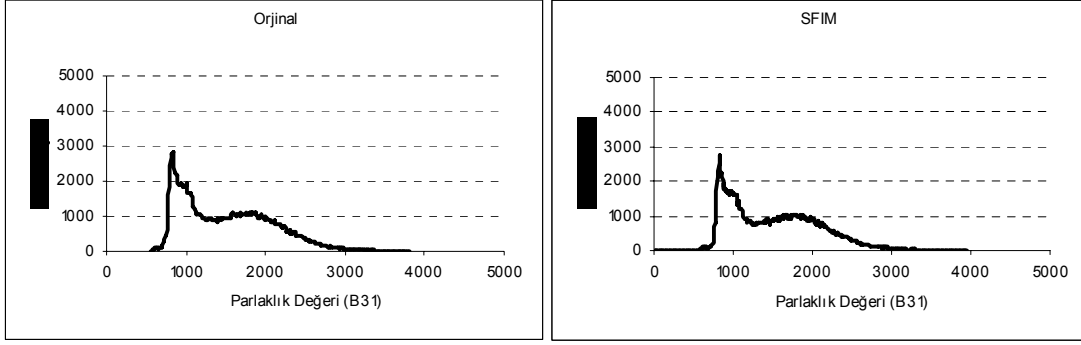
Birleştirilmiş görüntülerin mekânsal çözünürlük kalitesinin belirlenmesi için nehir kenarları, orman toplumlarının sınırları, tarım alanları ve yollar gibi detay bilgisi veren yüksek frekans değişimi olan bölgeler test alanı olarak seçilmiştir. Birleştirilmiş Hyperion/ALI PAN ve ALI MS/PAN görüntülerden öncelikle test alanları görsel olarak incelenmiştir. Sonuçta, orijinal görüntülerde fark edilemeyen orman yolları, nehir yatağı, tarım ve meralık alanların sınırlarının birleştirilmiş görüntülerde rahatlıkla tespit edilebilmiştir. Bu da veri birleştirme tekniklerinin orijinal görüntülerin detay bilgisini zenginleştirdiğini göstermektedir (Şekil 1).

Her iki veri grubu için de IHS, PCS ve GST yöntemleri ile elde edilmiş görüntülerin mekânsal çözünürlük kalitesinin aynı, fakat DCW ve SFIM yöntemlerine göre daha iyi olduğu görülmüştür. DCW ve SFIM görüntülerinde ise özellikle nehir ve orman sınırlarında “halka etkisi (ring effect)” denilen spektral bozukluklar görülmektedir. Birleştirilmiş görüntülerden renk bilgisi yönünden orijinal görüntüye en yakın olan yöntem ilk grup veride IHS, GST ve PCS iken, ikinci grup veride DCW yöntemidir.

Görsel değerlendirmeden sonra görüntü analizi, histogramların incelenmesi, belirlenen test alanlarına ait spektral ve geometrik yapıyı ifade eden grafiklerin incelenmesi olmak üzere üç aşamada yapılmıştır: (1) Görüntü birleştirme analizinde orijinal görüntü ile birleştirilmiş görüntünün histogramlarının karşılaştırılması literatürde kullanılan başka bir görsel yorumlama yöntemidir (Wald, 97). Bu aşamada orijinal ve birleştirilmiş görüntülerin histogramlarının minimum ve maksimum değerleri, histogramın şekli (veri dağılımı, tepe noktası gibi) dikkate alınmaktadır. Beş farklı yöntemle birleştirilmiş görüntülerin histogramları orijinali ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Buna göre ALI MS/PAN veri setini inceleyecek olursak DCW ve SFIM görüntülerinin histogramları orijinale en yakın olanlarıdır. PAN görüntüsünün ve birleştirilmiş görüntülerin



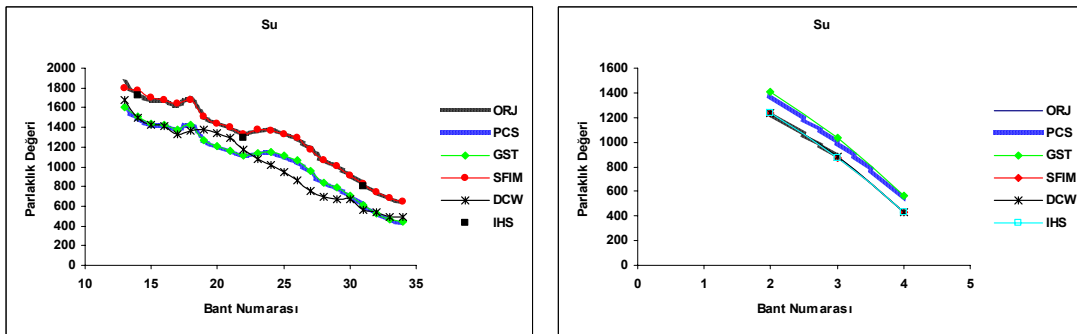
Şekil 1: Orijinal ve birleştirilmiş Hyperion görüntüleri



Şekil 2: Orijinal hyperion ve SFIM görüntülerinin histogramları

histogramları karşılaştırıldığında, histogramları benzer olan PCS ve GST görüntülerinin yüksek çözünürlüklü verinin detay bilgisinin orijinal görüntüye göre daha baskın olduğu ve bu sebeple spektral kalitelerinin daha düşük olduğu görülmektedir. IHS ile elde edilen birleştirilen görüntünün histogramının PCS ve GST'ye göre orijinal görüntünükine daha yakın olduğu görülmektedir. Hyperion/ALI PAN veri setinin histogramlarını inceleyecek olursak, orijinal görüntünün histogramına en yakın olanı sırasıyla SFIM, DCW, IHS, GST ve PCS görüntüleridir. Her iki veri setine ait histogramlar yöntemler bazında karşılaştırıldığında PCS, GST ve DCW görüntü histogramlarının Hyperion/ALI PAN veri setinde daha kötü performans sergilediği yani yüksek çözünürlüklü verinin birleştirilmesi sırasında orijinal hiperspektral görüntünün spektral özelliklerinin normal ALI MS orijinal görüntüsüne göre daha çok bozulduğu tespit edilmiştir.

(2) Bu aşamada arazi çalışmaları ile belirlenen orman, su ve toprak gibi test alanlarına ait orijinal ve birleştirilmiş görüntülerin spektral eğri grafikleri karşılaştırılarak sonuç görüntülerin kalitesi incelenmiştir (Şekil 3). Hyperion/ALI PAN veri setine ait spektral eğri grafikleri incelendiğinde orijinal görüntü ile SFIM görüntüsünün çok benzer olduğu görülmüştür. Birbiriyle çok benzer eğriye sahip PCS ve GST görüntüsünün DCW'ye nispeten daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Özellikle DCW'ye ait spektral eğrinin orijinal görüntüye göre çok farklı davranışlar sergilediği görülmüştür. ALI MS/PAN veri seti incelendiğinde ise SFIM ve DCW görüntülerine ait spektral eğrilerin orijinal görüntünün spektral grafiğine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. IHS yönteminin en büyük dezavantajlarından birisi olan sadece üç bant kullanması nedeni ile spektral değerleri grafiklerde noktasal olarak gösterilmiştir. Her iki veri setinde de IHS yöntemi PCS ve GST yöntemlerine göre daha iyi sonuç vermiştir.



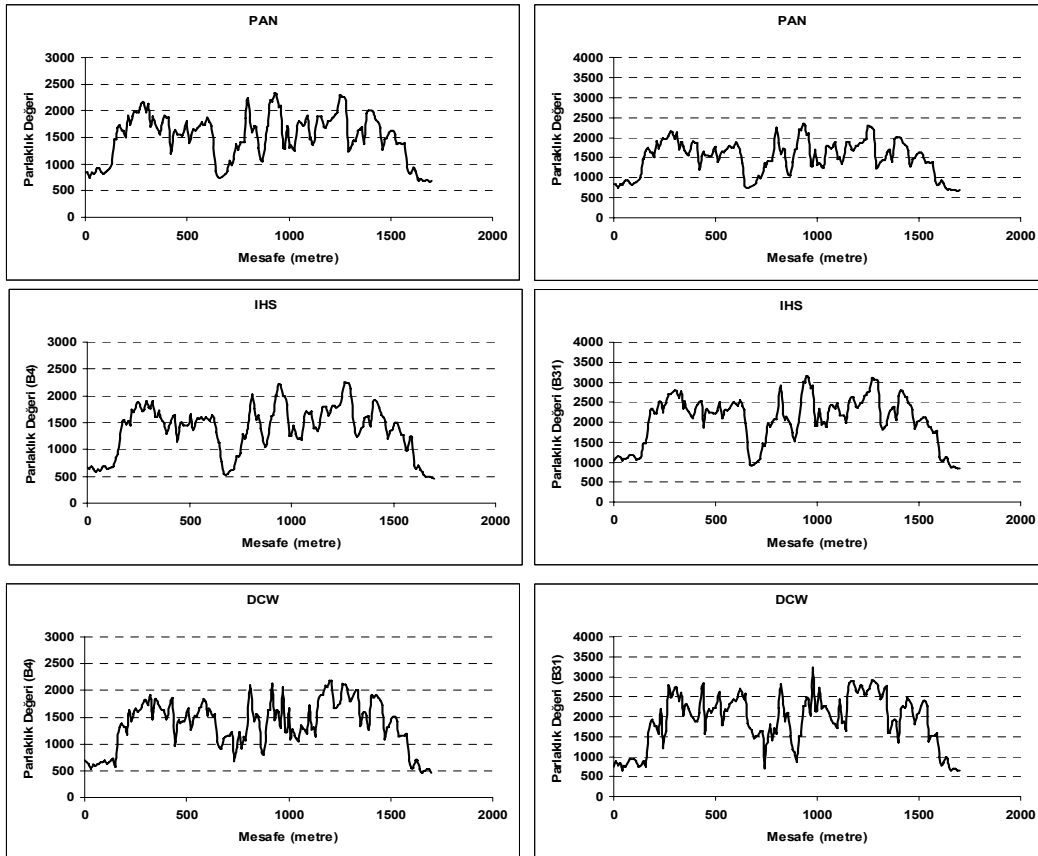
Şekil 3: Orijinal ve birleştirilmiş görüntülerde su test alanına ait spektral eğriler

(3) Birleştirilmiş görüntülerin mekânsal çözünürlüklerinin kalitesinin belirlenmesi için yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü ile birleştirilmiş görüntülere ait spektral eğriler yüksek frekans

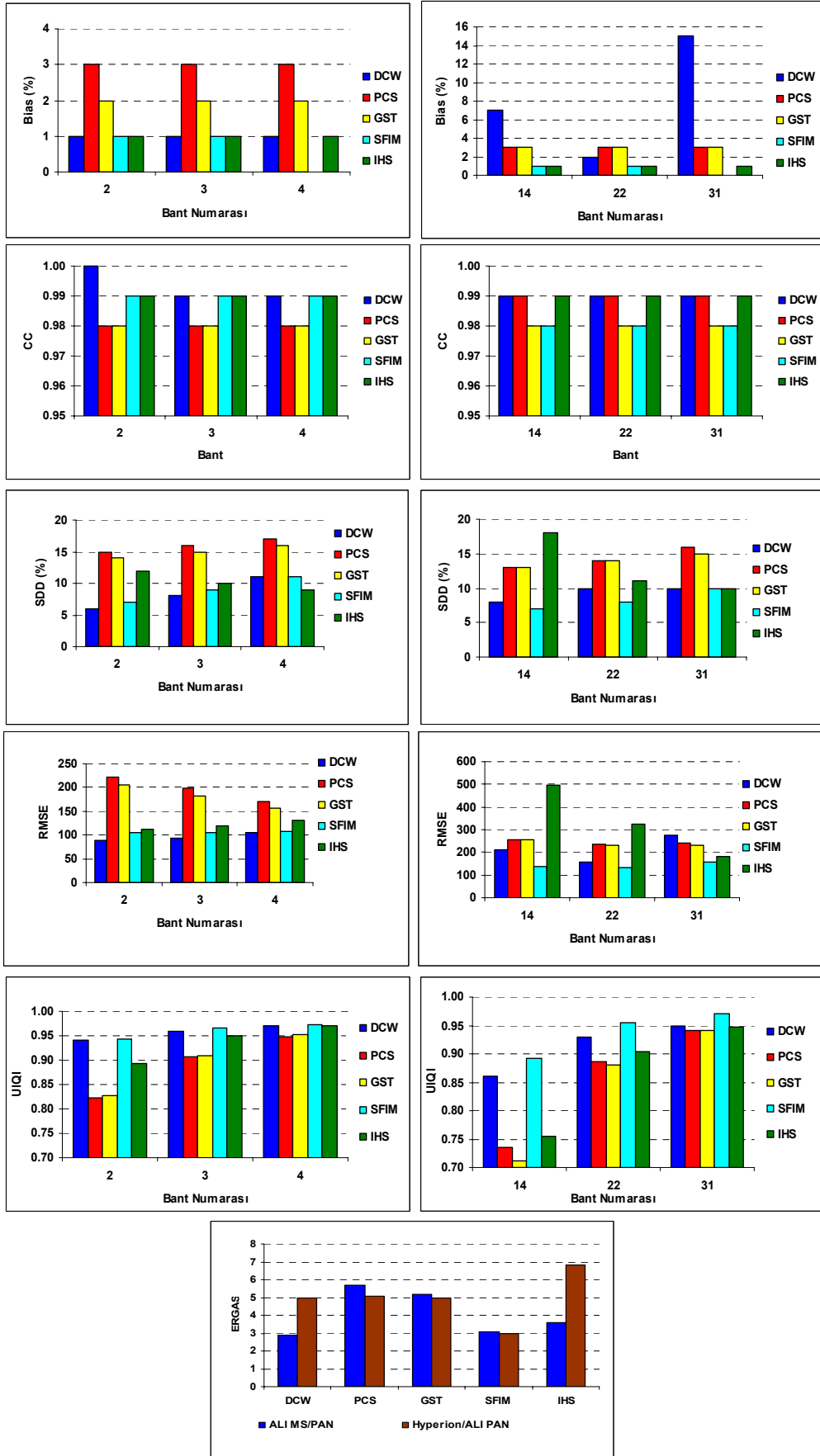
değişimi olan bir test alanında oluşturulan bir kesit boyunca değerlendirilmiştir. ALI MS/PAN veri setine ait grafiklere bakıldığında orijinal yüksek çözünürlüklü görüntünün spektral eğrisine davranış olarak en yakın olanlar sırasıyla IHS, PCS, GST, SFIM ve DCW görüntüleridir. Hiperspektral veri setinde de aynı sonuçlar çıkmış, fakat ALI MS/PAN veri setine göre mekânsal çözünürlük kalitesi daha zayıf bulunmuştur (Şekil 4).

İstatiksel değerlendirme

Bu bölümde birleştirilmiş görüntülerin kalitesi, görüntüler arasında piksel bazında göreceli sapma değerleri (Bias), varyans farkları ve fark görüntülerine ait standart sapmaları (SDD), korelasyon katsayıları (CC), karesel ortalama hataları (RMSE), ERGAS (Wald, 2002), görüntü kalite indeksi (UIQI, (Wang, 2002)) olmak üzere yedi adet istatistiksel parametre kullanılarak değerlendirilmiştir. ALI MS/PAN ve Hyperion/ALI PAN birleştirilmiş görüntülerine ait istatistiksel grafikler incelendiğinde (grafiklerin daha iyi anlaşılması için Hyperion verisinin sadece üç bantına yer verilmiştir) DCW ve SFIM sonuçlarının orijinal görüntüye en yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5). IHS yöntemiyle elde edilen görüntülerin performansının PCS ve GST'ye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hyperion veri setine ait UIQI grafiğine baktığımızda, 33.banttan 14. banta doğru dalga boyu düştükçe birleştirilmiş görüntü kalitesinin SFIM ve DCW için %90'dan %80'e düşerken, diğer görüntülerde bu oran %90'dan %70'e kadar düşmüştür. Genel olarak her iki veri seti için de birleştirilmiş görüntülerin kalitesi karşılaştırıldığında istatistiksel sonuçların birbirine yakın olduğu, yani Hyperion/ALI PAN ve ALI MS/PAN veri setleri için birleştirme algoritmalarının aynı performansı verdiği görülmektedir.



Şekil 4: Geometrik yapı analizinde kullanılan kesitteki spektral değişimler



Şekil 5: İstatistiksel değerlendirme sonuçları

Öneriler

Bu çalışmada hiperspektral ve pankromatik görüntülerden veri birleştirme yöntemleri ile yüksek kalitede zenginleştirilmiş görüntüler elde edilmiştir. Kullanılan yöntemler her iki veri setinde de yaklaşık aynı performansları göstermiştir. İstatiksel ve görsel sonuçlara göre en iyi performansı SFIM ve DCW yöntemleri göstermiştir. Ayrıca pankromatik görüntüler ile hiperspektral görüntülerin birleştirilmesi ve normal çok bantlı görüntülerin zenginleştirilmesi arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir. Bu çalışmada hiperspektral veri setinde sadece pankromatik görüntünün spektral aralığına karşılık gelen bantlar kullanılmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda hiperspektral verinin tüm bantları işleme girdi olarak alınarak sonuçlar irdelenebilir. Ayrıca birleştirilmiş ve orijinal görüntüler ayrı ayrı sınıflandırılarak sınıflandırma doğruluğuna etkisi de araştırılabilir.

Kaynaklar

- Bruno, G.D., Girel, J., Chassery, J.M., Pautou, G., (1996). The use of multi-resolution analysis and wavelet transform for merging spot panchromatic and multispectral imagery data. *Photogrammetr. Eng. Remote Sens.* **62** (9), 1057–1066.
- Carper, W.J., Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 1990. The use of Intensity Hue Saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multi-spectral image data. *Photogrammetric Eng. Remote Sens.* **56**, 459–467.
- Chavez, P.S., Sides, S.C. Anderson, J. A., 1991. Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multi-spectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.57, No.3, pp.295-303.
- Ehlers, M., 1991. Multisensor image fusion techniques in remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol.46, pp.19-30.
- Garguet-Dupont, B., Girel, J., Chassera, J.-M. and Pautou, G., 1996. The use of multiresolution analysis and wavelets transform for merging SPOT panchromatic and multispectral image data,” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.62, No.9, 1057-1066.
- Gong, Y., Lim, T. J. and B. Farhang-Boroujeny, 2001. Adaptive least mean square CDMA detection with Gram-Schmidt pre-processing. *IEEE*, v. 148.
- Göpfert, W., 1987. Raumbezogene Informationssysteme: Grundlagen der integrierten Verarbeitung von Punkt-Vektor und Rasterdaten in Kartographie, Fernerkundung und Umweltplanung.
- Harris, J.R., Murray, R. and Hirose, T., HIS transform for the integration of radar imagery with other remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.56, 1631-1641, 1990.
- Li, S., Kwok, J.T., Wang, Y., 2002. Using the discrete wavelet frame transform to merge Landsat TM and SPOT panchromatic images. *Inf. Fusion* 3 (1), 17–23.
- Liu, J. G., 2000. Smoothing filter-based intensity modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing*, **21**, 3461–3472.
- Munehika, C. K., Warnick, J. S., Salvaggio, C., and Schott, J. R., 1993. Resolution enhancement of multispectral image data to improve classification accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **59**, 67–72.
- Núñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Pala, V., Arbiol, R., 1999. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **37** (3), 1204–1211.
- Ranchi, T., ve Wald, L., 2000. Fusion on high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **66**, 49–61.
- Ranchin, T., Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., Wald, L., 2003. Image fusion—the ARSIS concept and some successful implementation schemes. *Isprs J. Photogramm. Remote Sens.* **58** (1–2), 4–18.
- Shi W., Zhu C. Q., Tian Y., Nichol J., 2005. Wavelet-based image fusion and quality assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **6**, 241–251
- Simone, G., Farina, A., et al., 2002. Image fusion techniques for remote sensing applications. *Informat Fusion* **3**, 3–15.

- Sunar, F., Musaoğlu N., 1998. Merging Multiresolution Spot P and Landsat TM Data: The Effects and Advantages, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.19, No: 2, pp. 219-224.
- Sun, J.B., Liu, J.L., Li, J., 1998. Multi-source remote sensing imagery data fusion. *Chin. J. Remote Sens.* **2** (1), 103–107.
- Tapiador F. J., Casanova J. L., 2003. Land use mapping methodology using remote sensing for the regional planning directives in Segovia, Spain. *Landscape and Urban Planning* **62**, 103–115
- Vrabel, J., 1996. Multi-spectral imagery band sharpening study. *Photogrammetric Eng. Remote Sens.* **62** (9), 1075–1083.
- Wald, L., 2002. *Data Fusion: Definitions and Architectures-Fusion of Images of different Spatial Resolutions*.
- Wald, L., Ranchin, T., and Mangolini, M., 1997, Fusion of satellite images of different spatial resolutions: assessing the quality of resulting images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **63**, 691–699.
- Wang Z., 2002, A Universal Image Quality Index. *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. **9**, No. 3
- Yocky, D.A., 1996. Multiresolution wavelet decomposition image merger of Landsat Thematic Mapper and SPOT panchromatic data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **62** (9), 1067–1074.
- 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* **6** 225–234
- Zhou, J., Civco, D.L., and Silander, J.A., “A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data,” *International Journal of Remote Sensing*, Vol.19,No.4, pp.743-757, 1998.