

IKONOS uydu görüntüleri ile yeni bir görüntü kaynaştırma yöntemi**

Deniz Yıldırım, Oğuz Güngör *

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

Özet

Web Yayın: 10 Temmuz 2012

Cilt: 1
Sayı: 1
Sayfa:
Mayıs 2012

Uzaktan algılamada, çok bantlı renkli uydu görüntülerinin konumsal çözünürlüklerinin aynı bölgeye ait daha iyi konumsal çözünürlüğe sahip pankromatik görüntülerle iyileştirilmesi işlemine görüntü kaynaştırma denilmektedir. Pankromatik görüntüdeki konumsal detay çok bantlı görüntüye aktarılırsa ve çok bantlı görüntüdeki spektral içerik orijinal görüntüdekine uygun olarak saklanırsa, görüntü kaynaştırma yöntemi başarılı olarak kabul edilir. Bu çalışmada, konumsal çözünürlük anlamında iyileştirilen ve spektral açıdan da geliştirilen çok bantlı görüntüler üretmeyi amaçlayan yeni bir görüntü kaynaştırma yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntem öncelikle bir ara görüntü oluşturmaktadır. Bu ara görüntü her bantı pankromatik görüntünün yüksek frekanslı kısmını tam olarak içeren görüntüler arasında orijinal çok bantlı görüntüye, tanımlanmış bir yarı içsel çarpıma göre, en yakın olan görüntüdür. Bu ara görüntü ve orijinal çok bantlı görüntünün dışbükey lineer toplamına belirli fonksiyonlar uygulanarak, kaynaşmış görüntü oluşturulmaktadır. Bu fonksiyonlar, orijinal görüntülerin yerel standart sapmalarına bağlıdır. Metodun performansını test etmek için, IKONOS uydu görüntüleri Brovey, IHS, PCA, dalgacık dönüşümü ve önerilen yöntem kullanılarak kaynaştırılmıştır. Görsel ve nicel değerlendirme sonuçları göstermektedir ki, önerilen yöntem hem konumsal hem de spektral olarak, dalgacık dönüşümü tabanlı yöntemler kadar iyi sonuçlar vermekte, kaynaştırılmış ürünlerde konumsal detayın iyileştirilmesi ve spektral içeriğin korunması birlikte ele alındığında ise daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Yöntem, daha uygun fonksiyonlar bulunarak daha da geliştirilme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Sözcükler

Kaynaştırma, Spektral, Konumsal, Görüntü, Matematik, IKONOS

Abstract

A novel image fusion method using IKONOS satellite images

In satellite remote sensing, spatial resolutions of multispectral images over a particular region can be enhanced using better spatial resolution panchromatic images for the same region by a process called image fusion, or more generally data fusion. A fusion method is considered successful, if the spatial detail of the panchromatic image is transferred into the multispectral image and the spectral content of the original multispectral image is preserved in the fused product. This research proposes a novel image fusion algorithm which takes aim at producing both spatially enhanced and spectrally appealing fused multispectral images. In the proposed method, first an intermediary image is created using original panchromatic and multispectral images. This intermediary image contains the high frequency content of the panchromatic source image such that it is the one closest to the given multispectral source image (upsampled) by a natural semi inner product defined. The final fused image is obtained by applying a function which performs convex linear combination of the intermediary image and the upsampled multispectral image. The function used depends on the local standard deviations of the source images. To test the performance of the method, the images from IKONOS sensor are fused using the Brovey, IHS, PCA, wavelet transform based methods, and the proposed method. Both visual and quantitative evaluation results indicate that the proposed method yields to both spectrally and spatially appealing results as the wavelet transform based method, and it gives a better performance when both spatial detail enhancement and spectral content preservation in the fused products are considered. It is also obvious that the method has a potential to get better results if a better fitting, more complex function is found.

Keywords

Fusion, Spectral, Spatial, Image, Mathematics, IKONOS

** Hakemli değerlendirme sürecinden geçerek, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi'nde yayına kabul edilen ve asıl yazı dili İngilizce olan "A novel image fusion method using IKONOS satellite images" başlıklı eserin Türkçe diline çevirisidir. Çeviren; Oğuz Güngör.

1. Giriş

Dünya yörüngesinde dolaşmakta olan ve çeşitli kurumlar tarafından idare edilen çok sayıda uzaktan algılama uydusu mevcuttur. Bu uydular uydu tabanlı uzaktan algılama için görüntü sağlayan başlıca araçlardır.

Özellikle GeoEye ve DigitalGlobe uyduları yüksek konumsal çözünürlükte uydu görüntüleri sunar. GeoEye uydularından IKONOS 4m çözünürlükte çok bantlı (4 bant) ve 1m çözünürlükte pankromatik görüntü sunarken GeoEye-I 1.6m çözünürlükte çok bantlı (4 bant) ve 0.41m çözünürlükte pankromatik görüntü sunmaktadır. DigitalGlobe uydularından QuickBird ise 2.4m çözünürlükte çok bantlı (4 bant) ve 0.6m çözünürlükte pankromatik görüntü üretirken WorldView-2 ise 2m çözünürlükte çok bantlı (8 bant) ve 0.5m çözünürlükte pankromatik görüntü üretebilmektedir (Klenas 2011; Loarie vd. 2007). 41 cm konumsal çözünürlüklü bir GeoEye-I görüntüsünde, dünya yüzeyinde en az 41cm x 41cm boyutlarında herhangi bir yükseklikteki bir nesne çevresindeki diğer nesnelere ayırt edilebilir. Yine nesnelere paralel kenarları, aralarındaki uzaklık en azından 41 cm ise görüntü üzerinde ayırt edilebilir. Konumsal çözünürlük görüntüdeki iki komşu piksel merkezinin yeryüzündeki karşılıklarının arasındaki yatay mesafeyi ifade eden Yer Örneklem Mesafesi (YÖM) ile ilişkilidir. Fakat, YÖM'nin aksine, aynı algılayıcının bile görüntüleri arasında konumsal çözünürlük farklı olabilir.

NASA'nın Dünya Gözlem Sisteminin bir parçası olarak yörüngeye fırlatılan EO-1 uydusu üzerindeki Hyperion algılayıcısı, elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi kısmını her biri yaklaşık 10nm dalga boyu genişliğinde 200'den fazla banda ayırarak görüntü alma kapasitesine sahiptir. Böylece kırmızı renge karşılık gelen 620nm-750nm dalga boyu aralığı 14 farklı bantla görüntülenebilmekte, böylece kırmızının 14 değişik tonu ayırt edilebilmektedir (Url-1). Dolayısıyla, Hyperion algılayıcısı ile elde edilen görüntülerin spektral çözünürlüğü yüksektir. Spektral çözünürlük bant sayısı ve her bir banda karşılık gelen spektral aralık ile ilişkilidir.

Yukarıda verilen bilgilerden de anlaşılacağı üzere, genellikle uzaktan algılama uyduları, aynı alan için aynı anda hem pankromatik hem de çok bantlı (renkli) görüntü üretmektedir ve daha çok teknik sebeplerden dolayı, aynı sistemin ürettiği pankromatik görüntüler çok bantlı görüntülerden daha yüksek konumsal çözünürlükte olmaktadır.

Genel anlamda uzaktan algılamada görüntü kaynaştırma, aynı alan için alınmış, konumsal, radyometrik ve spektral çözünürlük gibi temel özellikleri farklı olabilen, aynı veya farklı tarihlerde alınmış en az iki görüntünün kaynaştırılarak yeni bir görüntü elde edilmesi işlemidir. Kaynaşmış görüntünün özellikleri ve içerdiği bilgi her bir girdi görüntüden üstündür. Görüntü kaynaştırma kavramının özel bir hali, yüksek konumsal çözünürlüklü pankromatik görüntülerle nispeten daha düşük konumsal çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntülerin kaynaştırılmasıdır. Literatürde İngilizce haliyle pan-sharpening de denilen bu işlemde amaç, kaynaştırma sonucunda düşük çözünürlükteki çok bantlı görüntünün konumsal çözünürlüğünü mümkün olduğunca kadar pankromatik görüntünününe yaklaştırmaktır (Pohl ve Van Genderen 1998; Güngör 2008). Kaynaşmış görüntünün bant sayısı ve

bu bantların spektral aralıkları, girdi çok bantlı görüntünün-kilere eşit ve her yeni oluşan bantın boyutu ve YÖM değeri ise girdi pankromatik görüntünün boyutu ve YÖM değerine eşit olmalıdır. Kaynaşmış görüntü olabilecek en yüksek konumsal bilgi içeriğine sahip olmalı, aynı zamanda spektral bilgi kalitesini de (yani orijinal çok bantlı görüntünün renk kalitesini) iyi bir şekilde korumuş olmalıdır (Cliché et al. 1985).

Zhang (2008) görüntü kaynaştırma yöntemlerini modülasyon tabanlı yöntemler (örnek: Brovey yöntemi), bileşen değişimi yöntemleri (örnek: IHS ve PCA gibi yöntemler) ve çoklu ölçekli çözümleme yöntemleri olmak üzere üç kategoriye ayırmaktadır. Son kategori dalgacık dönüşümlü çoklu çözünürlükte ayrıştırma yöntemini kullanmaktadır (Zhang 2008).

Önerilen yöntem, bu üç kategori içinde modülasyon tabanlı yöntemlere en yakındır. Yöntemin başlangıcında, belirlenmiş bir görüntü uzayına göre, girdi pankromatik görüntü değiştirilir ve gereksiz kısımları atılır. Ayrıca yöntem aslında istatistiksel bir yöntemdir, çünkü sonuç yerel varyanslara bağlıdır. Aradaki bağıntı fonksiyonu bir parametreye bağımlıdır ve bu parametre ile kaynaştırma işlemindeki konumsal ayrımı aktarımı ve renk korunumu kalitesi düzenlenebilmektedir.

2. Görüntü Kaynaştırma Yöntemleri

2.1. Modülasyon Tabanlı Yöntemler

Modülasyon (kiplleme) tabanlı yöntemlerde ilk olarak, girdi görüntülerden bir ara görüntü oluşturulmakta ve her piksel için pankromatik görüntü ile bu ara görüntünün oranı hesaplanmaktadır. Daha sonra bu oranlar boyutu yeniden örneklenerek pankromatik görüntünün boyutuna çıkartılmış orijinal çok bantlı görüntünün değerleri ile çarpılarak kaynaşmış görüntü elde edilmektedir (Yang vd. 2010). Popüler bir modülasyon tabanlı yöntem olan Brovey yönteminde ara görüntü, orijinal çok bantlı görüntünün toplamıdır (Zhang 2002). Öncelikle her çoklu bant tüm bantların toplamına bölünerek normalleştirilmekte ve elde edilen oran görüntü pankromatik bant ile çarpılarak kaynaşmış görüntü elde edilmektedir. Kaynaşmış görüntünün piksel değerleri, Denklem 1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_i = C \cdot X S_i \quad (1)$$

Burada, F_i sonuç kaynaşmış görüntünün i . bandındaki değeri, $X S_i$, girdi çok bantlı görüntünün i . bandındaki ilgili değeri, C ise pankromatik görüntüdeki ilgili piksel değerinin çok bantlı görüntüde ilgili piksellerin toplamına oranını temsil etmektedir.

2.2. Bileşen Değişimi Yöntemleri

Bileşen değişimi yöntemlerinde görüntü kaynaştırma üç aşamada gerçekleşir. Önce ilgili konumsal dönüşüm çok bantlı görüntüye uygulanır ve bu görüntünün yeni veri uzayındaki bileşenleri bulunur. İkinci aşamada, bu bileşenlerden konumsal olarak en çok bilgiyi içeren ve pankromatik görüntüye en çok benzeyen bileşen, pankromatik görüntü ile değiştirilir. Son aşamada ise ters dönüşüm uygulanır ve kaynaşmış gö-

rüntüye ulaşılır (Yang vd. 2010). IHS ve PCA yöntemleri bileşen değişimi yöntemleri arasında en yaygın olarak bilinen yöntemlerdir.

IHS renk uzayında, I parlaklık bileşenidir, H baskın rengi 0° ila 360° arasında açı cinsinden verir, S ise rengin saflık derecesinin yani rengin beyaz ışık ile ne kadar seyreltilmiş olduğunu göstergesidir. Aslında bir çok bantlı görüntüye ait I bileşeni konumsal bilgiyi (Chibani ve Houacine 2002), H ve S bileşenleri ise renk bilgisini içermektedir (Pohl ve Van Genderen 1998; González-Audicana vd. 2005; González-Audicana vd. 2006). Görüntü kaynaştırma için öncelikle çok bantlı görüntü yeniden örneklendirilerek boyutu pankromatik görüntü ile aynı yapılır. Daha sonra seçilen üç tane bant IHS uzayına dönüştürülerek I bileşenin yerine pankromatik görüntü konur, fakat H ve S bileşenleri aynen tutulur. Son olarak ters IHS dönüşümü uygulanarak kaynaşmış görüntü elde edilir. İleri ve Ters IHS dönüşüm matrisi Denklem 2’de verilmiştir (Harrison ve Jupp 1990).

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Pan \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Burada, R, G ve B orijinal renkli bantlar, F_1, F_2 ve F_3 kaynaşmış görüntünün bantları, Pan ise pankromatik görüntüdür. H ve S bileşenleri $H = \arctan(V_2 / V_1)$ ve $S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$ bağıntılarından elde edilir. Kaynaşmış görüntü, pankromatik görüntünününe benzer bir konumsal çözünürlükte olacak ve onun içerdiği konumsal detayları içerecektir. Yöntem aslında matematiksel anlamda incelendiğinde ortaya çıkmaktadır ki, kaynaştırma işlemi her bir çoklu banta aynı sabit sayıyı eklemekten ibarettir ve bu sayı I bileşeni ile pankromatik görüntü arasındaki farktır. Dolayısıyla bu işlem renksel bozulmaya sebep olmaktadır.

Uydu tabanlı uzaktan algılamada, genelde çok bantlı görüntülerde en az 4 bant bulunur ve I hesaplanmasında ağırlıklı ortalamalar kullanmak renk anlamında daha iyi sonuçlar verebilir. Bu ağırlıklar büyük oranda algılayıcıya bağlıdır. IKONOS için Choi vd. (2008) bu ağırlıkları hesaplamış ve I bileşeni için IKONOS görüntüsünde en uygun formülün $I = R/10 + G/4 + B/12 + 17 NIR/30$ olduğunu bulmuştur.

Bir diğer bileşen değiştirme yöntemi PCA (Ana bileşenler) yöntemidir (Zhang 2010). PCA dönüşümü çok bantlı bir

görüntüyü bantlar arasındaki kovaryansı minimize ederek ana bileşenlerine dönüştürür. Ana bileşenler lineer olarak birbirlerinden bağımsızdır. Birinci ana bileşende çok bantlı görüntüye ait konumsal bilgi, diğer ana bileşenlerde ise renk bilgileri yer alır (Chavez ve Kwarteng 1989; Zhou vd. 1998; González-Audicana 2004). Yüksek konumsal çözünürlükte kaynaşmış görüntü elde etmek için birinci ana bileşen pankromatik görüntü ile değiştirilir ve ters PCA dönüşümü uygulanır (Gonzales ve Woods 1992). Bu istatistiksel yöntemde kaynaştırmanın kalitesi girdi görüntülerin içeriğine bağlıdır (Güngör 2008).

2.3. Çoklu Ölçekli Çözümleme Yöntemleri

1980’lerde keşfedilmiş olan dalgacık dönüşümü ile bir görüntü, uzayda ve ölçekte bir ayrışma uğrar (Schneider ve Farge 2006). Fourier dönüşümdeki sinüs kosinüs temel fonksiyonlarının yerine diğer dalgacık fonksiyonlarını üreten bir ana dalgacık fonksiyonu vardır. $L^2([0,1])$ ’de dalgacık fonksiyonlarından oluşan bir dik taban vardır ve sürekli dalgacık fonksiyonları ayrık hale getirebilir. Pankromatik ve çoklu bant görüntünün çözünürlüklerinin oranına bağlı olarak pankromatik görüntü dalgacık bileşenlerine ayrıştırılabilir ve ölçek-uzay gösterimi elde edilir. Bu çalışmada çözünürlükler oranı 4 olduğu için, pankromatik görüntüye iki kere dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Pankromatik görüntünün dalgacık bileşenlerinden orijinal çok bantlı görüntü ile aynı çözünürlükte olan ortalama bileşeni, orijinal çok bantlı görüntü ile değiştirilir. Sonra ters dalgacık dönüşümü uygulanarak kaynaşmış görüntü elde edilir.

3. Önerilen Yöntem

Öne sürülen yöntemde önce \mathbb{T} adlı sabit görüntüleri kapsayan bir görüntü uzayı oluşturur. Bu uzaydaki görüntüler pankromatik görüntü ile aynı boyuta sahiptir. Çekirdeği \mathbb{T} uzayı olan, ortak değişim (kovaryans) kullanılarak tanımlanabilecek bir yarı norm ($\|\cdot\|$) vardır. Bu yarı norm, bir reel yarı iç çarpım ($\langle \cdot, \cdot \rangle$) tanımlar. \mathbb{T} uzayı ile pankromatik görüntüdeki gereksiz bilgiler (frekansın değişmediği veya çok düşük olduğu bölgeler) atılarak kaynaştırma için gerekli bilgiler ortaya çıkartılır. \mathbb{T} uzayını, bir tabanı aracılığı ile tanımlayabiliriz. Bu tabandaki elemanlar, verilen bazı sıfır ortalama filtreler ile geçerli evrişimi sıfır olan görüntülerden seçilebilir. Popüler yöntemler bu şekildeki uzayları doğrudan kullanmamaktadırlar.

P pankromatik görüntü olsun. P görüntüsünün \mathbb{T} uzayındaki kısmı ayrılarak konumsal ayrıntıları içeren P_0 elde edilir. $t = P - P_0$ olarak tanımlanır ve t sıfır kovaryans ve sıfır ortalama değerlerine sahiptir. P_0 ’dan bir Z çok bantlı görüntü oluşturulur. Her bir bant P_0 ’m bir katıdır, dolayısıyla konumsal bilgi kaybı \mathbb{T} ’ye göre yoktur. Z böyle görüntüler içinde, hiç konumsal bilgi kaybı olmadan yeniden örneklendirilerek boyutu pankromatik görüntü ile aynı yapılmış orijinal çok bantlı görüntüye en yakın görüntüdür.

En son ürün olan kaynaşmış görüntüdeki her piksel, Z ile yeniden örneklendirilmiş orijinal çok bantlı görüntünün ilgili piksel değerlerine bağlıdır. Bu bağıntı, f_r adlı yerel standart sapmaya bağlı bir fonksiyonlar serisi ile bir pozitif r parametresi kullanılarak tanımlanır. Bu r parametresi ile renk ve

konumsal veri aktarımı dengesi ayarlanmaktadır.

$f_r (r > 0)$ 'lar için şunlar geçerlidir:

1. $[0,1]$ aralığında sürekli, $f_r(0) = 0, f_r(1)=1$
2. $(0,1)$ aralığında sürekli bir türevi var, ve bu türev negatif olmuyor
3. $r \geq 1$ için dışbükey ve $0 < r \leq 1$ için içbükey
4. $r, (0,1)$ aralığındaki s 'ye yakınsarken, f_r, f_s 'e $L^\infty([0,1])$ 'de yakınsar.
5. R sıfıra inerken, f_r, g_1 'e $L^\infty([0,1])$ 'de yakınsar.
6. Her $\varepsilon > 0$ için, öyle bir R_ε vardır ki, her $r > R_\varepsilon$ için $\|f_r - g_2\|_\infty < \varepsilon$,
 $g_1(x) = 1, x (0,1)$ içindeyse, $g_1(0) = 0$
 $g_2(x) = 0, x [0,1)$ içindeyse, $g_2(1) = 1$.

Yukardaki koşulları sağlayan fonksiyon dizilerinin dışbükey doğrusal kombinasyonları da bu koşulları sağlar. $r = 1$ durumunda ise f_r özdeşlik fonksiyonu olmaktadır. Ayrıca, f_r hipergeometrik fonksiyonlar kullanılarak yazılabilir ve daha iyi sonuç elde edilebilir. Fakat genel hipergeometrik fonksiyonların hesaplanması çok uzun zaman almaktadır.

Yerel standart sapmanın yüksek olduğu yerlerde kaynaşmış görüntü pankromatik görüntüye, diğer yerlerde ise çok bantlı görüntüye daha fazla benzeyecektir. Bu strateji ile orijinal çok bantlı görüntünün renk bilgisinin mümkün olduğunca korunarak konumsal ayrıntıların eklenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca r küçüldükçe kaynaşmış görüntü pankromatik görüntüye daha çok benzeyecektir.

4. Uygulama ve Bulgular

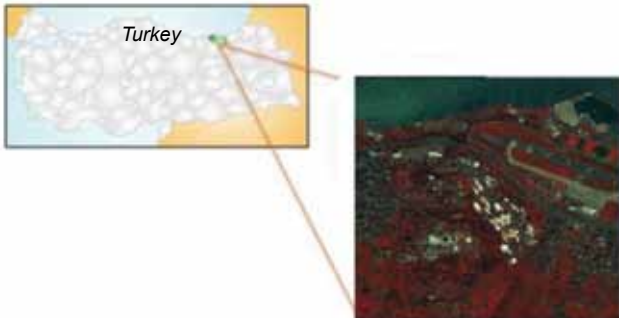
4.1. Araştırma Alanı

Çalışma alanı Trabzon ilinde yaklaşık $40^\circ 59.7'$ Kuzey, ve $39^\circ 46.4'$ Doğu koordinatlı nokta etrafındaki $2.048 \text{ km} \times 2.048 \text{ km}$ ' lik kentsel kıyı alanını kapsamaktadır. Trabzon ili 760000'i aşkın nüfusu ile Doğu Karadeniz Bölgesinde yer almaktadır (Url-2). Şekil 1'de Trabzon ili ve çalışma alanı Türkiye haritası üzerinde gösterilmektedir.

Görüntünün ortasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni yerleşkesi, onun kuzey doğusunda ise Trabzon havalimanı yer almaktadır. Görüntünün güney kısmı kırsal alandır, kuzey kısmında Karadeniz'den bir parça ve Trabzon sahili yer almaktadır.

4.2. Materyal

Bu çalışmada Mayıs 2003 tarihinde çekilmiş IKONOS pank-



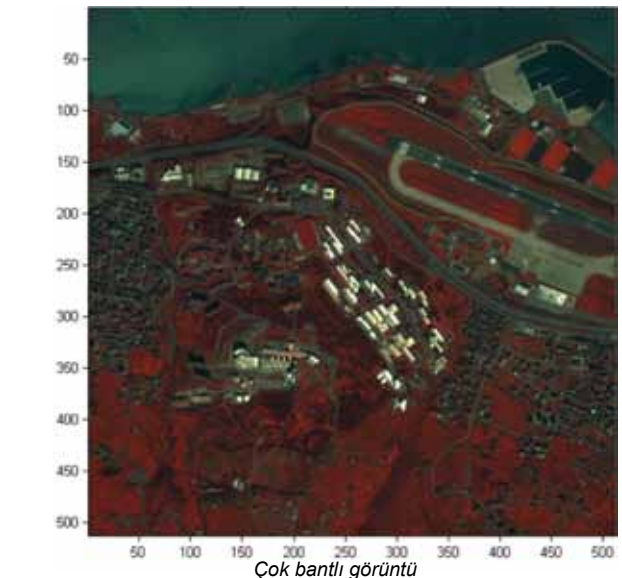
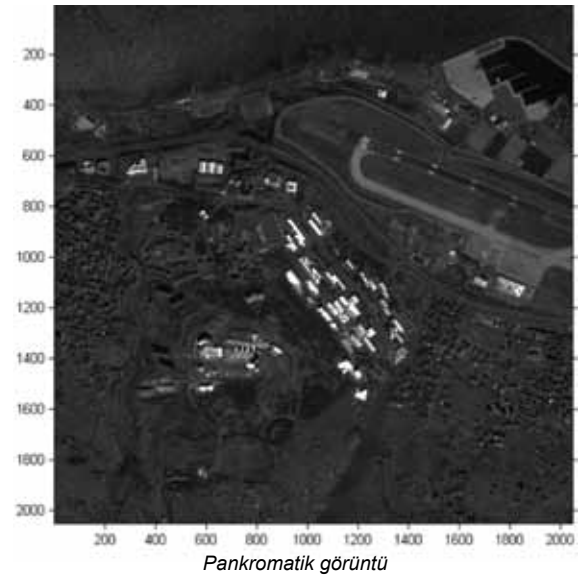
Şekil 1. Trabzon ili (yeşille işaretlenmiş) ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Kampüsü'ne ait çok bantlı uydu görüntüsü

romatik ve çok bantlı görüntüler kullanılmıştır. Konumsal çözünürlük pankromatik görüntü için 1m, çok bantlı görüntü için 4 m'dir. Çok bantlı görüntü mavi, yeşil, kırmızı ve kızılötesi olmak üzere 4 banttan oluşmaktadır. Görüntülerin radyometrik çözünürlükleri 11'er bittir. Kullanılan görüntüler Şekil 2'de verilmiştir.

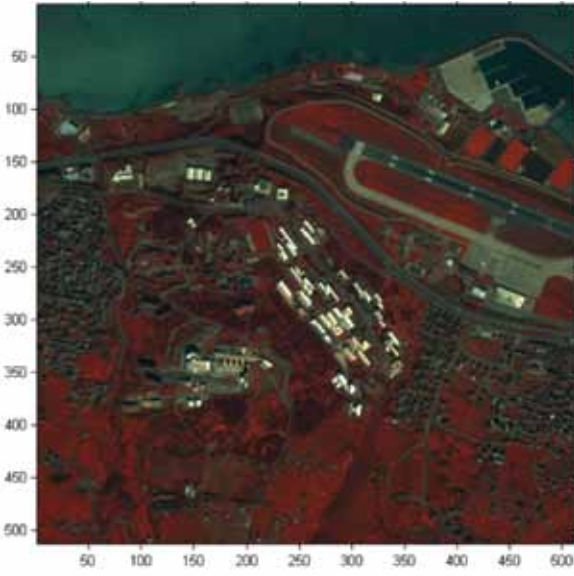
4.3. Görsel Değerlendirme

Dört bant aynı anda gösterilemeyeceğinden, gösterimlerde üç bant seçilmiştir. Şekil 2'de olduğu gibi, Şekil 3'te mavi bant mavi kanaldan, yeşil bant yeşil kanaldan, kızılötesi bant kırmızı kanaldan gösterilmiştir. Bu sebeple, çoğu bitki üzerine düşen güneş ışığını yeşil bölgeden daha çok miktarda kızılötesi bölgede yansıttığından bitki örtüsü kırmızı-turuncu görünmektedir (Knipling 1970). Şekil 4 ve Şekil 5'te ise görüntüler gerçek renk diziliminde gösterilmiştir. Tüm görüntülerde piksel değerleri $32=2^{16-11}$ ile çarpılarak görüntülerin daha aydınlık gösterilmeleri sağlanmıştır.

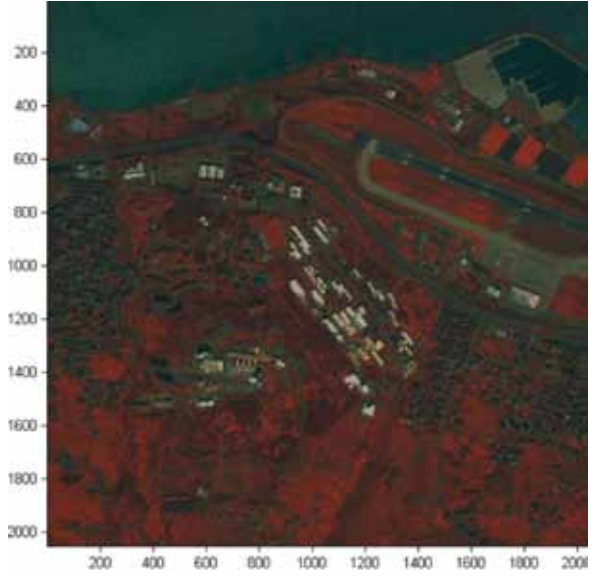
Yöntemlerin girdi görüntülerin bütününe uygulanmasından elde edilen sonuç görüntüleri Şekil 3'te, parça görüntülere uygulanmasından elde edilen sonuç görüntüleri ise Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi PCA yöntemi hariç



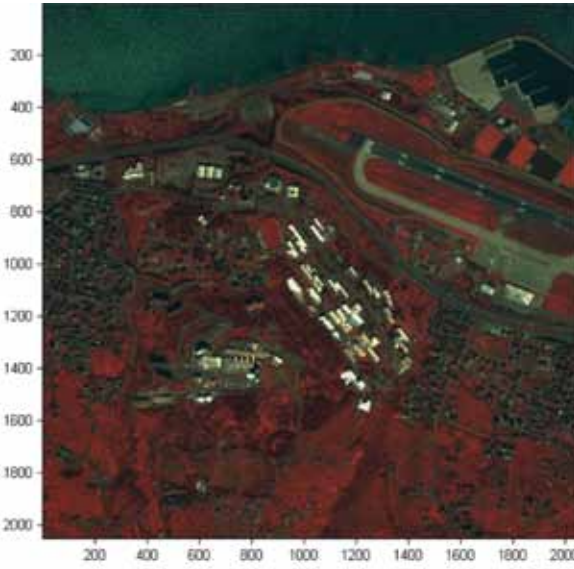
Şekil 2. Çalışmada kullanılan IKONOS pankromatik ve çok bantlı görüntüler



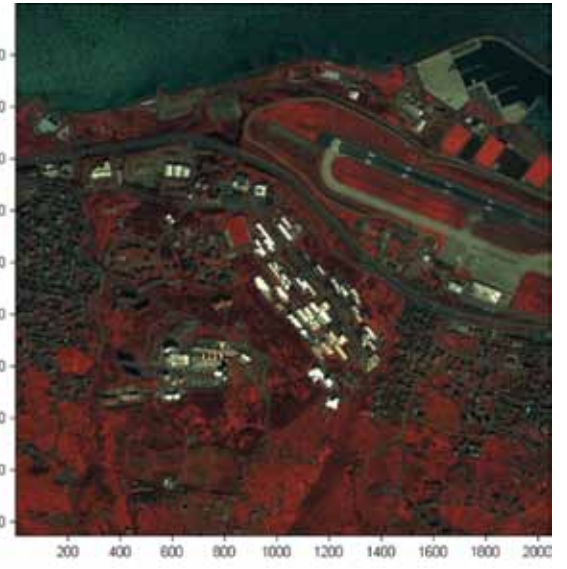
a- Girdi çok bantlı görüntü



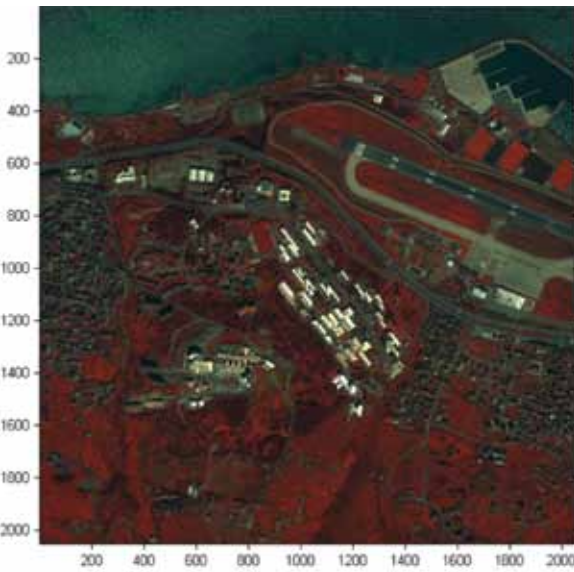
b- PCA yöntemi



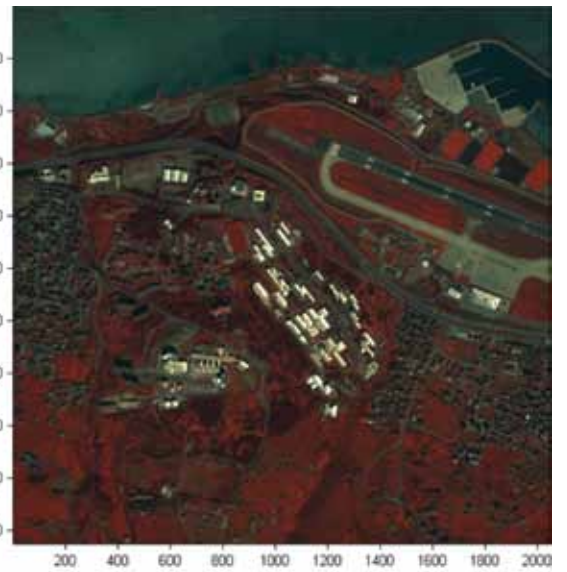
c- IHS yöntemi



d- Brovey yöntemi

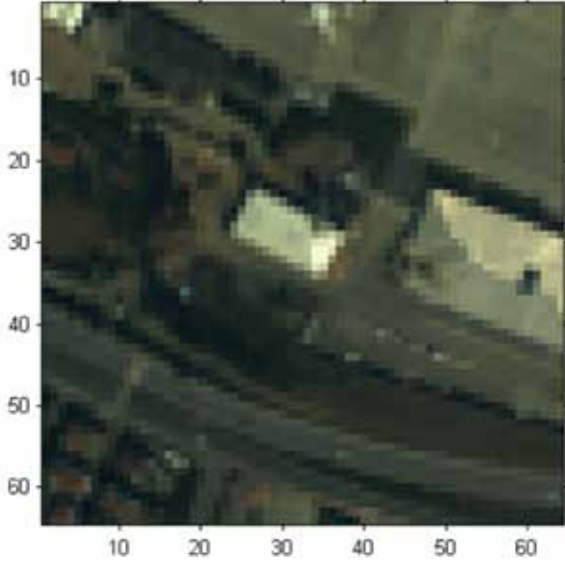


e- Dalgacık yöntemi

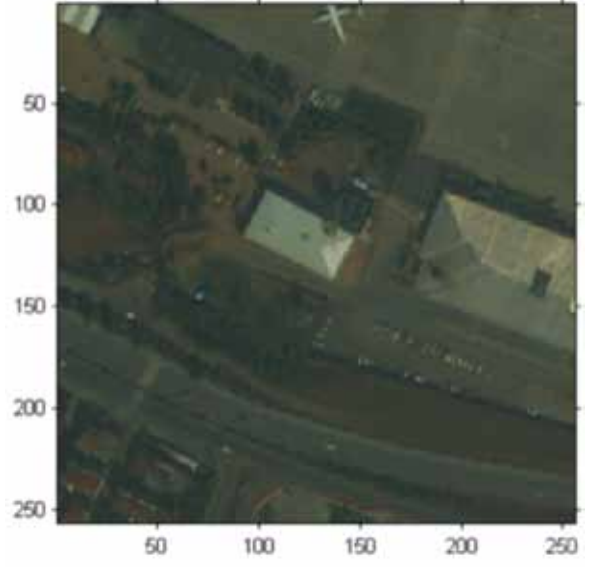


f- Önerilen yöntem

Şekil 3. Girdi çok bantlı görüntü ve yöntemlerin tüm görüntüye uygulanması sonucu elde edilmiş kaynaşmış görüntüler (bant kombinasyonu Mavi – Yeşil – Kırmızı)



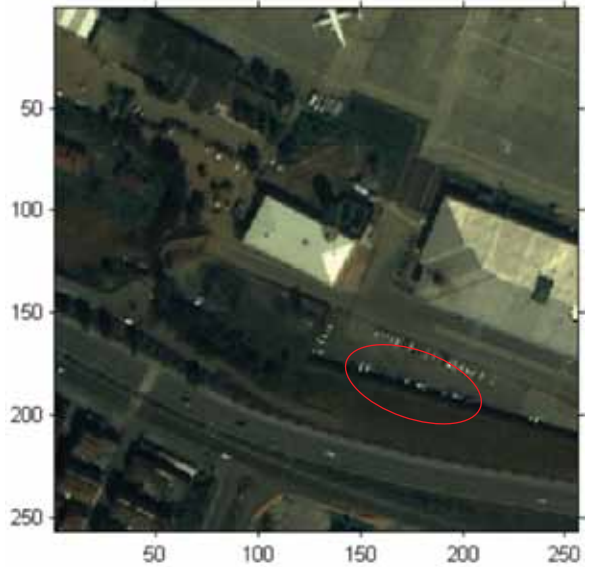
a- Girdi çok bantlı görüntünün parçası



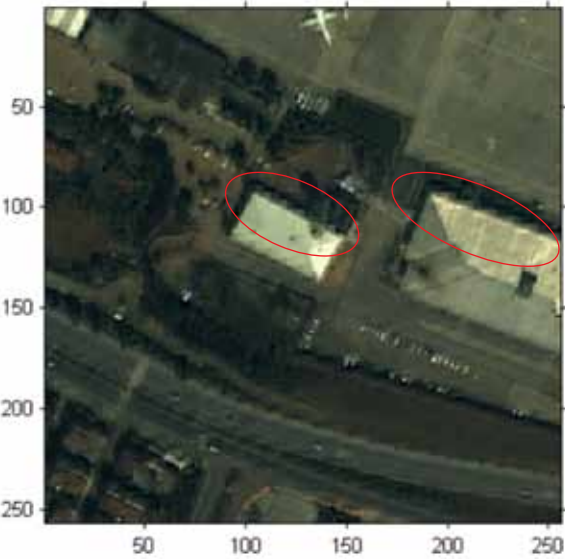
b- PCA yöntemi



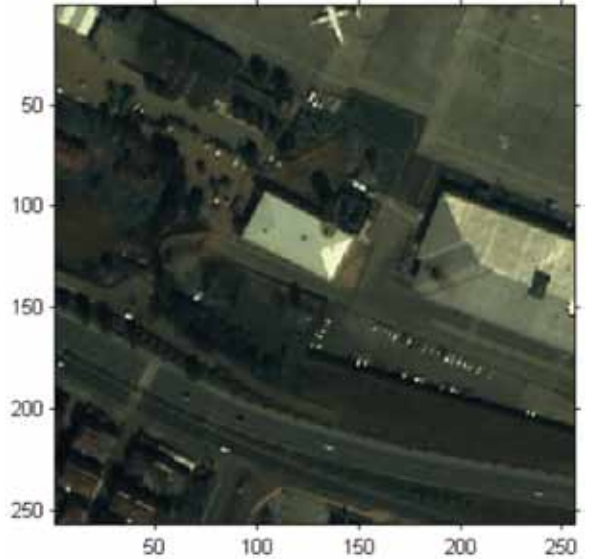
c- IHS yöntemi



d- Brovey yöntemi

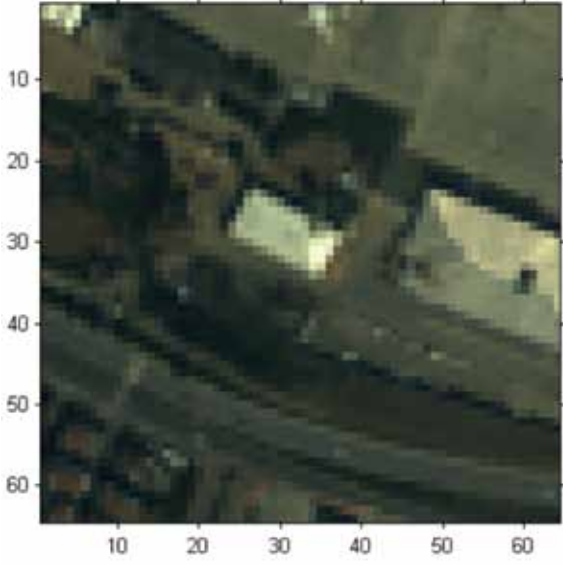


e- Dalgacık yöntemi

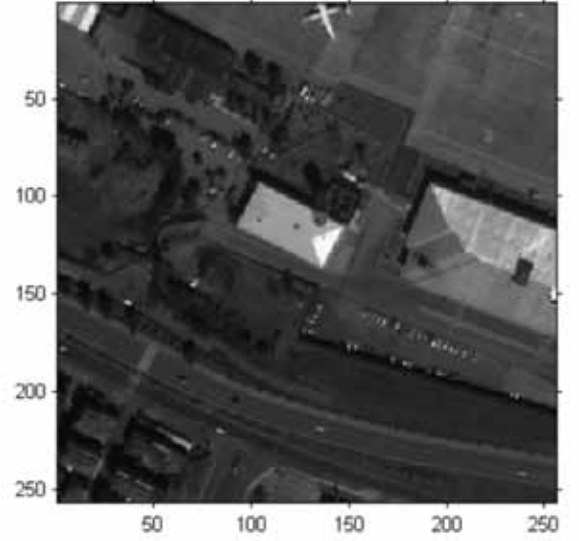


f- Önerilen yöntem

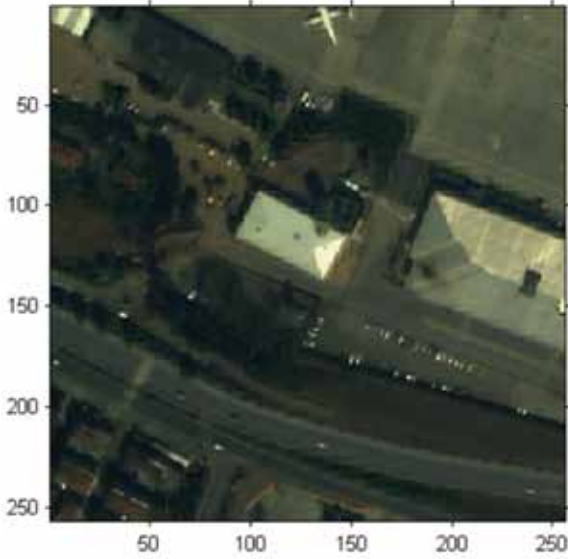
Şekil 4. Girdi çok bantlı görüntünün bir parçası ve yöntemlerin bu parçaya uygulanması sonucu elde edilmiş kaynaştırılmış görüntüler (bant kombinasyonu Mavi – Yeşil – Kırmızı)



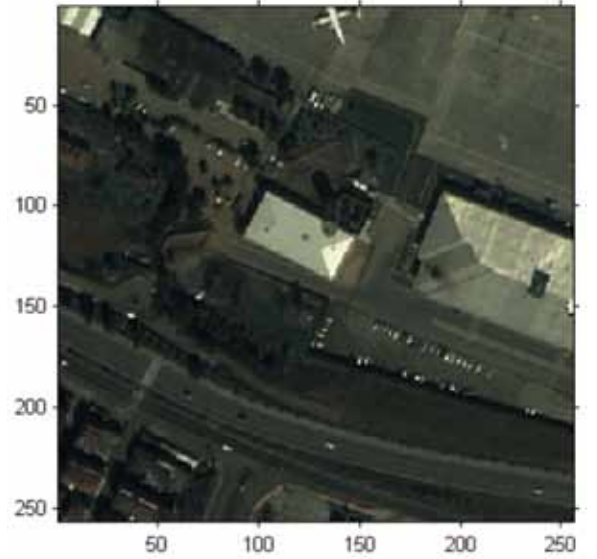
Girdi çok bantlı görüntü parçası



Girdi pankromatik görüntü parçası



Önerilen yöntemde tercih edilen yapılandırma



Konumsal olarak daha iyi, renk korunumu daha zayıf yapılandırma

Şekil 5. Girdi görüntüler ve farklı yapılandırma sonucu konumsal ayrıntı aktarımı ve renk korunumu kalitelerinin değişimi

tüm yöntemler renk açısından iyi sonuç vermekte, PCA yöntemi ise karanlık ve bulanık görüntüler üretmektedir (Şekil 3b ve Şekil 4b).

Şekil 4 ise diğer yöntemlerin performansını, hem renk hem konumsal bilgi açısından daha iyi çözümlememizi sağlamaktadır. Şekil 4c'de görüldüğü gibi, IHS yöntemi, özellikle şekilde elipslerle işaretlenmiş bölgelerde, renkte bozulmalara yol açmaktadır. Brovey yöntemi konumsal olarak daha iyi sonuç vermekte, renk açısından IHS yönteminden daha iyi sonuç verse de yine de bozulmalar oluşmaktadır. Özellikle görüntüdeki küçük detayların renklerinde bozulmalar (örneğin, arabaların rengi mavileşmekte) gözlemlenmektedir. Dalgacık yöntemi renk korunması açısından iyi sonuç vermekte, fakat özellikle bina kenarlarında ve çizgisel ayrıntılarda blok artefakt denilen kusurlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 4e). Önerilen yöntem ise, hem konumsal olarak

hem de renklerin korunması açısından tatmin edici sonuç vermektedir (Şekil 4f).

Önerilen yöntem ve seçilen diğer yöntemler hem tam orijinal boyutuyla pankromatik ve çok bantlı girdi görüntülere, hem de bu görüntülerin içinde seçilen daha küçük parçalara uygulanmıştır. Şekil 5'te önerilen yöntemin esnekliği test edilmiştir. Hem konumsal hem de renk anlamında en uygun görüntü elde edilmeye çalışılmıştır. Orijinalde 11 bit radyometrik çözünürlükte olan bu görüntüler, 16 bit veri tipinde saklanmış ve gösterilmiştir.

Ayrıca, önerilen yöntemin en büyük avantajı esnek olmasıdır. Kullanıcı parametreleri değiştirerek veya bunların konveks lineer kombinasyonlarını kullanarak ya daha iyi konumsal detay ya da daha kaliteli renk içeriği elde edebilmektedir. Bu, renk koruma kalitesindeki düşüş pahasına konumsal çözünürlüğün artması veya tam tersi bir durumun oluşması

anlamına gelmektedir. Bu olayın sebebi konumsal çözünürlük anlamında daha iyi konfigürasyonların spektral içerik korumada zayıf olması veya spektral içerik korumada iyi olan konfigürasyonların konumsal çözünürlük anlamında zayıf kalması gerçeğidir. Şekil 5 bahsedilen etkinin sonuçlarını gözler önüne sermekte, renk koruma kalitesindeki düşüş paylaşına konumsal çözünürlüğün artması gözlemlenmektedir.

4.4. Nicel Değerlendirme

Görüntü kaynaştırma yöntemlerinin yanında bunları karşılaştırmak ve başarımlarını değerlendirmek için çeşitli görüntü kaynaştırma metrikleri üretilmiştir. Yaygın olanların arasında bağıntı katsayıları değişimini ölçen CC, diğer alanlarda da yaygın olarak kullanılan RMSE (Root Mean Square Error, Karesel Ortalama Hata), ERGAS(Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), RASE (Relative Average Spectral Error), SAM (Spectral Angular Mapper), SID (Spectral Information Divergence) ve SSIM (The Structure Similarity Index) verilebilir.

Wald (2000)'in geliştirdiği ERGAS metriğinde çözünürlük farkını hesaba katarak RMSE'den daha etkin bir metrik oluşturma hedeflenmiştir. RASE, ortalama parlaklık ve RMSE verileri ile görüntü kaynaştırma yönteminin ortalama başarımını yüzde cinsinden ölçer (Choi 2005).

RASE ve ERGAS için formüller Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'te verilmiştir (Wald 2000).

$$RASE = \frac{100}{M} \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K RMSE(B_k)^2} \quad (3)$$

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{RMSE(B_k)}{M_k} \right)^2} \quad (4)$$

Yukarıdaki formüllerde $RMSE(B_k)$ k 'inci kaynaşmış ve orijinal bant arasındaki karesel ortalama hatayı, h/l pankromatik görüntü ile çok bantlı görüntü arasındaki çözünürlük oranını, K toplam bant sayısını, M_k , k bandının ortalamasını ve M ortalama parlaklık değerini göstermektedir (Güngör 2008). M değeri Eşitlik 5'te verildiği gibi hesaplanır.

$$M = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K M_k \quad (5)$$

SAM renklerdeki değişimi açısal olarak hesaplar ve ortalama açısal değişimi verir. SID ise spektral benzerlik tanımlama anlamında SAM'in gelişmiş şeklidir ve görelî entropiler toplanarak hesaplanır (Chang 1999). Hedef, piksel değerlerinin dağılımını birer rasgele değişken olarak değerlendirip olasılık bilimi açısından benzerliğini ölçmektir (Chang 1999).

Wang vd. (2004) tarafından geliştirilmiş olan SSIM metriği, bir konumsal metriktir. Daha önce ortaya koydukları UIQI (Universal Image Quality Index)'nin iyileştirilmiş halidir. Görüntüler arasında yapısal benzerliği, dolayısıyla konumsal ayrıntı aktarımı kalitesini ölçer. Görüntü üzerinde kayan küçük pencerelerde yönlü ortalamalar ve standart sapmalar bulunur ve o pencerenin SSIM değeri Eşitlik 6'daki formülle hesaplanır (Wang vd. 2004). Bu SSIM değerlerinin ortalaması da tüm görüntünün SSIM değerini verir.

$$SSIM(x, y | w) = \frac{(2\bar{w}_x \bar{w}_y + C_1)(2\sigma_{w_x w_y} + C_2)}{(\bar{w}_x^2 + \bar{w}_y^2 + C_1)(\sigma_{w_x}^2 + \sigma_{w_y}^2 + C_2)} \quad (6)$$

Tablo 1 bu metriklerin kaynaşmış görüntülere uygulanması sonucu ortaya çıkan istatistikleri listelemektedir. Optimal değerler ikinci sütunda listelenmiştir. Her metrik için en iyi sonuç kırmızı, ikinci en iyi sonuç ise mavi olarak işaretlenmiştir.

Tablo 1'den de görüleceği üzere, altı renksel metrik testinin üçünde, önerilen yöntem en iyi sonucu verirken dalgacık yöntemi ise onu izlemiştir. PCA yöntemi, hiçbir testte ikinci en iyi dahi olamamıştır. Brovey yöntemi için RMSE yüksek çıkmış, SAM ve SID sıfır olmuştur. Önerilen yöntemin SID değeri düşük çıkmıştır. Bu orijinal çok bantlı görüntüdeki piksel değerlerinin dağılımının kaynaşmış görüntüdekine çok benzer olduğunu göstermektedir. SSIM değerlerine göre ise, IHS yöntemi konumsal olarak en iyi sonucu vermiş, onu önerilen yöntem izlemiştir.

5. Sonuç

Nicel ve görsel değerlendirmeler göstermiştir ki, yaygın görüntü kaynaştırma yöntemleri, ya renk korunması açısından ya da konumsal ayrıntı aktarımı açısından iyi sonuçlar vermektedir, ama her zaman her iki açıdan da iyi sonuç veremebilmektedir. Bu çalışmanın amacı hem konumsal açıdan hem de renk korunumu açısından iyi sonuç veren esnek ve kullanışlı bir yöntem geliştirmektir. Amaç, kullanıcının tek bir parametreyi isteğine göre değiştirdiğinde ya konumsal açıdan ya da renk korunumu açısından daha iyi bir kaynaşmış görüntü elde edebilmesini sağlamaktır.

Önerilen yöntem yerel standart sapmalara dayanan ve istatistiksel hesaplamaları devreye sokan bir yöntemdir. Yöntem önde gelen yaygın yöntemlerle test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Amaçlandığı üzere yöntemin bir denge parametresi ile ya daha iyi konumsal ayrıntı aktarımı veya daha iyi renk korunumu kaliteleri arasında sonuçlar vermesi başarılmıştır.

Önerilen yöntem yerel standart sapmalara dayandığı için yalnız duran köşeli nesnelere, kaynaştırılmış görüntülere istenildiği gibi yansımayaabilir.

İleriki çalışmalarımızda, yönteme daha iyi sonuçlar verecek τ uzayları ve f_r fonksiyonları bulunmaya çalışılacak ve diğer yöntemlere ortak bir çatı getirme kapasitesi araştırılacaktır.

Tablo 1. Kaynaştırma değerlendirme istatistikleri

	Opt	Önerilen	Dalgacık	PCA	IHS	Brovey
CC	0	0.0948	0.0489	0.2112	0.0538	0.0904
ERGAS	0	2.6385	4.8662	6.8023	5.85	87.677
RASE%	0	10.439	18.855	25.816	22.6616	85.413
RMSE	0	43.466	78.506	107.49	94.328	355.64
SAM	0	1.8053	1.4153	2.7529	1.9158	2E-07
SID	0	0.0018	0.0608	0.0119	0.0347	2E-06
SSIM	0	0.6901	0.665	0.5416	0.7461	0.2228

Kaynaklar

- Chang C., (1999), *Spectral information divergence for hyperspectral image analysis*, Proc. Geosci. Remote Sens. Symp.'un İçinde, Cilt.1, ss.509-511.
- Chavez P.S., Kwarteng A.Y., (1989), *Extracting spectral contrast in landsat thematic mapper image data using selective principal component analysis*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55(3), 339-348.
- Chibani Y., Houacine A., (2002), *The joint use of IHS transform and redundant wavelet decomposition for fusing multispectral and panchromatic images*, International Journal of Remote Sensing, 23(18), 3821-3833.
- Choi M., Kim R.Y., Nam M.R., Kim H.O., (2005), *Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform*, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2(2), 136-140.
- Choi M., Kim H., Cho N.I., Kim H.O., (2008), *An improved intensity-hue-saturation method for ikonos image fusion*, International Journal of Remote Sensing.
- Cliché G., Bonn F., Teillet P., (1985), *Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 51(3), 311-316.
- González-Audicana M., Saleta J.L., Catalan R.G., Garcia R., (2004), *Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(6), 1291-1299.
- González-Audicana M., Otazu X., Fors O., Seco A., (2005), *Comparison between Mallat's and the a trous discrete wavelet transform-based algorithms for the fusion of multispectral and panchromatic images*, International Journal of Remote Sensing, 26(3), 595-614.
- González-Audicana M., Otazu X., Fors O., Alvarez-Mozos J., (2006), *A low computational-cost method to fuse IKONOS images using the spectral response function of its sensors*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44(6), 1683-1691.
- Gonzalez R.C., Woods R.E, (1992), *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Güngör O., (2008), *Multi Sensor Multi Resolution Image Fusion*, Doktora Tezi, Purdue University.
- Klemas V., (2011), *Remote sensing techniques for studying coastal ecosystems: An overview*, Journal of Coastal Research, 27(1), 2-17.
- Knipling E.B., (1970), *Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation*, Remote Sensing of Environment, 1, 155-159.
- Loarie L.S., Joppa L.N., Pimm S.L., (2007), *Satellites miss environmental priorities*, Trends in Ecology & Evolution, 22(12), 630-632.
- Pohl C., van Genderen J.L., (1998), *Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications*, Int. J. Remote Sensing, 19(5), 823-854.
- Schneider, K., Farge M., (2006), *Wavelets: Mathematical theory*, In: Encyclopedia of Mathematical Physics, (Françoise J.P., Naber G., Tsun T.S., Ed.), Academic Press, Oxford, ss.426-438.
- Wald L., (1999), *Some terms of reference in data fusion*, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 37(3), 1190-1193.
- Wald L., (2000), *Quality of high resolution synthesized images: Is there a simple criterion?* Proc. Int. Conf. Fusion Earth Data'nın İçinde.
- Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P., (2004), *Image quality assessment: From error measurement to structural similarity*, IEEE Trans. Image Process., 13(4), 600-612.
- Yang J., Zhang J., Li H., Sun Y., Pu P., (2010), *Pixel level fusion methods for remote sensing images: A current review*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), XXXVIII(7B).
- Zhang J., (2008), *Generalized model for remotely sensed data pixel-level fusion*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII(B7), 1051-1056.
- Zhang J., (2010), *Multi-source remote sensing data fusion: Status and trends*, International Journal of Image and Data Fusion, 1, 5-24.
- Zhang, Y., (2002), *Problems in the fusion of commercial high resolution satellite images as well as Landsat 7 images and initial solutions*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), 34(4).
- 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, 19(4), 743-757.
- Url-1, *HYPERION Spectral Coverage*, USGS EO-I Website, <http://eo1.usgs.gov/sensors/hyperioncoverage>, [Erişim March 2012].
- Url-2, *Trabzon Province*, English Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/Trabzon_Province, [Erişim May 2012].