

UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİNDE GÖRÜNTÜ FÜZYONU

Asan ABAS, Murat YAKAR, Nurdan BAYKAN

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Konya, Türkiye - (yakar, nurdan@selcuk.edu.tr, asan_ihsan@yahoo.com)

Anahtar Kelimeler: Dalgacık dönüşümü, Görüntü Füzyonu, IHS dönüşümü, PSO algoritması, Uydu Görüntüsü.

ÖZET

Büyük bir hızla gelişmekte ve yeni uygulama alanları bulmakta olan uydu teknolojisi sonucunda farklı çoklu-algılayıcı sistemler ve farklı çoklu-çözünürlüğe sahip görüntü verileri kullanılmaktadır. Görüntü füzyon teknolojisi, uydu verilerinin en iyi özelliklerini (hem uzaysal, hem de spektral) içerecek şekilde tek bir görüntü verisi haline getirilmesini sağlar. Bu çalışmada üzerinde yapılan iki farklı kaynak görüntüsü (QuickBird, 2.8m MS ve QuickBird, 0.7m pan) birleştirilmesi için çeşitli füzyon yöntemleri kullanılmıştır (Brovey dönüşümü, IHS dönüşümü, TBD dönüşümü, Dalgacık dönüşümü) ve elde edilen sonuçlar belli kriterlere göre değerlendirilmiştir. Bu diğer bir katkısı ise elde edilen görüntü sonuçlarının, iyi korunmuş kalite spektral bilgisine sahip olması için yeni bir yöntem kullanılmıştır (PSO Tabanlı IHS).

Key Words: IHS Transform, Image Fusion, Image Satellite, PSO algorithm, Wavelet Transform.

ABSTRACT

As a result of the rapidly developing satellite technology which extends into new application areas, various multiple sensor systems and various image data with different multiple resolutions are used. Image fusion technology enables to create a single image data which comprises the best characteristics (both spatial and spectral) of the satellite data. In this study, different fusion methods (Brovey transformation, IHS transformation, PCA transformation, Wavelet transformation) were used to fuse two different source images (QuickBird, 2.8m MS and QuickBird, 0.7m pan) and the data obtained were evaluated according to criteria. Another contribution of this study is the usage of a new method (PSO Based IHS) in order to enable the obtained image results to have well preserved spectral quality.

1.Giriş

Günümüzde birçok alanda uydu görüntüleri kullanılmaktadır ormancılıkta, şehir bölge planlamada, savunmada kullanılmaktadır. Görüntü füzyonu, yüksek uzaysal çözünürlüklü pankromatik görüntünün detay bilgisini ve düşük uzaysal çözünürlüklü çok spektrallı görüntünün renk bilgisini bir araya getirip yüksek uzaysal çözümlemeli renkli görüntü oluşturan bir tekniktir.

Başka bir anlamla pankromatik keskinleştirme yönteminde düşük çözünürlüklü çok bantlı bir görüntü ile daha yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü füzyon edilir ve yüksek çözünürlüklü ve çok bantlı görüntü elde edilir. Uzaktan algılama ve görüntü tanıma algoritmaları, yüksek uzaysal çözünürlükle birlikte detaylı renk ve doku özneliğine sahip görüntülerde daha yüksek performans göstermektedir[9]. Uzaktan algılama literatüründe füzyon işlemi “pansharpening” olarak adlandırılır; çünkü birleştirme işleminde, PAN görüntünün uzaysal detayları Çok spektrallı görüntüyü keskinleştirmek için kullanılmaktadır. Bu işlemler dâhilinde Çok spektrallı görüntünün uzaysal çözünürlüğü artırılırken, spektral bilgisi korunmaya çalışılır[5].

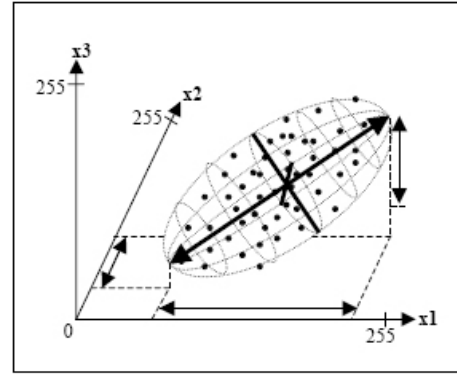


Şekil.1. İki görüntüye füzyon uygulaması

Şu ana kadar hem amaç hem de kullanılan metod açısından birçok görüntü füzyon tekniği geliştirilmiştir. Söz konusu tekniklerin uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir[5]:

- Akıllı sistemler ve robotlar.
- Görüntü ve diğer sensörleri kullanarak gerçekleştirilen geri beslemeli robot hareket kontrolü.
- Stereo kameraların kontrolü.
- Akıllı izleme sistemleri.
- Otomatik hedef belirleme ve yol takip etme sistemleri.
- Tıbbi uygulamalar
- X-ışınlarla elde edilmiş tomografi ile manyetik rezonans görüntü füzyonu.
- Bilgisayar destekli cerrahlik.
- 3 boyutlu yüzey örnekleme.

- İmalat sistemleri:
- Elektrik devre eleman tespiti.
- Ürün yüzeyini ölçme ve inceleme.
- Tehlikeli olmayan (nondestructive) maddelerin incelenmesi.
- İmalat süreç denetimi.
- Karmaşık makine/cihaz inceleme.
- Üretim hatlardaki zeki robotlar.
- Askeri ve güvenlik uygulamaları:
- Tanıma, iz sürme, yer (su, hava) hedefleri belirleme.
- Saklı silah tespiti.
- Savaş alan denetimi.
- Gece yol kılavuzu.
- Uzaktan algılama sistemleri.
- Elektro manyetik ışınlarının değişik frekanslarını kullanma.
- Algılayıcılar: siyah beyaz havai fotoğraf makinelerinden çok spektrumlu
- aktif mikrodalga görüntüleme radarlarına kadar çeşitli ölçü sistemleri.



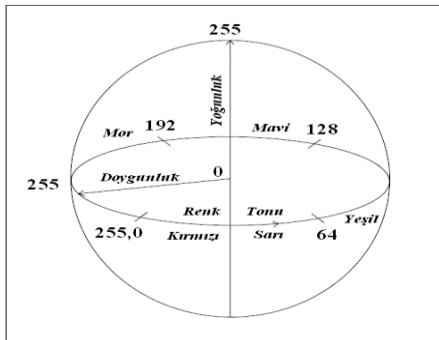
Şekil 3. Temel bileşen ekseninin

Birinci temel bileşen (PC1) bilginin çoğunu içerir. Pankromatik bant ilk temel bileşen yerine koyulur. Pankromatik görüntü ile yer değiştirildikten sonra ters TBD dönüşümü uygulanarak görüntü önceki görüntüye çevrilerek işlem tamamlanır.

2.FÜZYON YÖNTEMLER MEVCUT TEKNİKLER VE YAKLAŞIMLAR

Pankromatik keskinleştirme için zaman içerisinde geliştirilen pek çok yöntemden en popüler ve etkin olanları bileşenlerin değiştirilmesi, dolaylı spektral katkı yöntemi, görüntü istatistiğine dayalı yöntemler, dalgacık (wavelet) tabanlı füzyon. Bileşenlerin değiştirilmesi ile elde edilen Pankromatik keskinleştirme tekniklerinden en bilinenleri Yeşinlik-Renk-Doyum (IHS) ve Temel Bileşen Analizi (PCA)'dir[9].

2.1.IHS'de RGB renk uzayından IHS renk uzayına görüntü dönüştürülür. I bandının pankromatik görüntüye eş düştüğü varsayılarak, pankromatik görüntü ile değiştirilir. Ters IHS dönüşümü ile yüksek çözünürlüklü çok bantlı görüntü elde edilir[20].



Şekil 2. Yeşinlik, renk tonu, doygunluk (IHS) renk koordinat sistemi

2.2. PCA: Temel Bileşen Analizin'de birbirleriyle korelasyonu olan spektral bantlar temel bileşenlere dönüştürülür. İlk bileşen yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntünün özelliklerini taşır. Bu bant pankromatik görüntü ile yer değiştirilir. Ters PCA yöntemi sonucu pankromatik görüntünün çok bantlı görüntü ile füzyonu sağlanmış olur.Literatürde yaygın olarak kullanılan bir başka kategori ise Dolaylı Spektral Katkı ya da diğer adıyla aritmetik kombinasyonlardır[9].

2.3.Brovey Dönüşümü, Bu yöntemde görüntüye ait en düşük ve en yüksek kenardaki değerleri arasında farklılığı görsel olarak arttırmak için kullanılan bir birleştirme yöntemidir. Bu sebepten dolayı, bu yöntem daha çok farklılıkların göz ile algılanmasının önem kazandığı çalışmalarda kullanılmaktadır. Brovey dönüşümü, temel olarak çok spektrallı görüntünün her bir bandının parlaklık değerini ayrı ayrı pankromatik görüntünün parlaklık değerleri ile çarpılması ve elde edilen değer diğer tüm bantların piksel değerleri toplamına bölünmesi ile gerçekleştirilir[3]. Bu işlem görüntünün tümünde uygulanır. Brovey dönüşümü olarak bilinen bu eşitlik;

$$R_{yeni} = \frac{R}{R + G + B / 3} * PAN \quad (1)$$

$$G_{yeni} = \frac{G}{R + G + B / 3} * PAN \quad (2)$$

$$B_{yeni} = \frac{B}{R + G + B / 3} * PAN \quad (3)$$

R: Kırmızı,
G: Yeşil,
B: Mavi,
PAN: Pankromatik olarak tanımlanır.

2.4. Dalgacık Dönüşümü

Durağan olmayan işaretlerin spektral analizi için uygun olmasından dolayı dalgacık dönüşümünün diğer spektral analiz metodlarına göre üstünlükleri vardır. Dalgacık dönüşümünün en önemli avantajı, düşük frekanslar için geniş, yüksek frekanslar için dar olacak şekilde değişen pencere boyutlarının olmasıdır. Böylece, bütün frekans aralıklarında optimum zaman-frekans çözünürlüğü sağlanabilmektedir [5,6].

Belirli bir ölçekte işaretin frekansının majör bileşenleri mevcut ise dalgacık bu mevcut frekans bölgesinde işarete çok yakın

olacaktır. Hesaplanacak sürekli dalgacık katsayıları ilişkili olarak zaman - ölçek düzleminde büyük olacaktır [19].

$$w(a,b) = \int x(t)\psi_{(a,b)}^*(t)dt \quad (4)$$

$$\psi_{(a,b)}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (5)$$

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(t)\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \quad (6)$$

$$x(t) = \frac{c_\psi}{a^2} \int \int w(a,b)\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right)dadb \quad (7)$$

b ölçek dönüşüm parametresi
 Ψ ana dalgacık
 c_ψ ana dalgacığa bağlı sabitler
 $w(a,b)$ $x(t)$ nin Dalgacık Dönüşümü

İşaret aşağıdaki gibi ayrık zamana dönüştürülür.

Ortanormal fonksiyonlar için

$$a=2^j \quad (8)$$

$$b=2^k \quad (9)$$

Yüksek ve alçak geçiren filtreler için

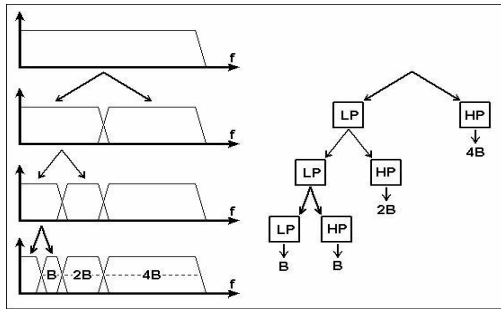
$$y_{high}[k] = \sum_n x[n]h[2k-n] \quad (10)$$

Yüksek geçiren filtre çıkışı

$$y_{low}[k] = \sum_n x[n]g[2k-n] \quad (11)$$

Alçak geçiren filtre çıkışı

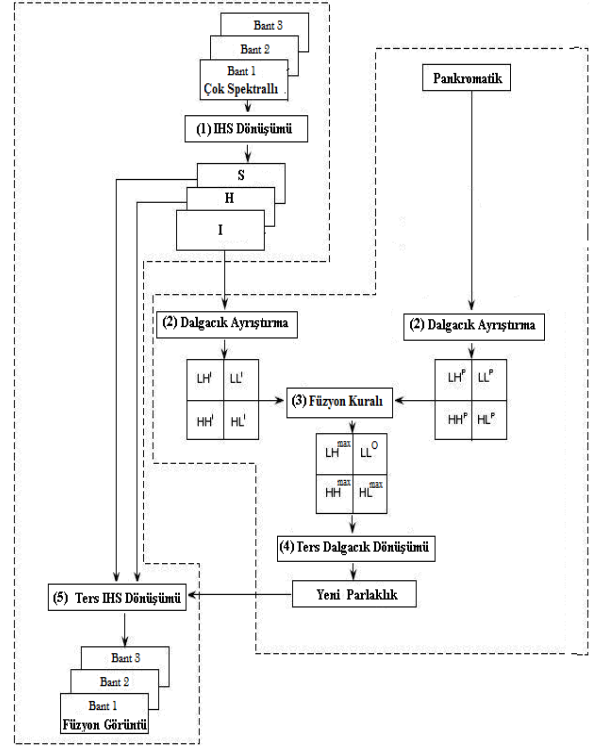
Sinyal tayfı (spektrum) alçak geçiren ve yüksek geçiren parçalar olmak üzere iki eşit parçaya bölmektir[15]. Yüksek geçiren bölüm ilgilenilen en küçük detayları içerir. Sonuçta, iki bölüme sahip olmakla birlikte alçak geçiren bölüm hala bazı detayları içermektedir ve bu nedenle onu tekrar bölümleyebiliriz. Bu yöntem ile bir türetilmiş filtre bankası oluşturulur. Genellikle bantların sayısı veri miktarı veya mevcut olan hesaplama gücü ile sınırlıdır. Tayfı (spektrum) bölümlenme işlemi grafiksel olarak aşağıdaki şekilde görüntülenmektedir [8] .



Şekil 4. Altbant kodlama

Dalgacık füzyonunda yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü bir grup düşük çözünürlüklü görüntüye ve dalgacık katsayılarına dönüştürülür. Üst örnekleme (upsampling) yapılmış MS görüntü de dalgacık dönüşümü (Wavelet Transform) yapılarak düşük çözünürlüklü görüntüye ve dalgacık katsayılarına dönüştürülür. MS görüntünün dalgacık katsayıları

pankromatik görüntünün dalgacık katsayılarıyla yer değiştirilir. Daha sonra MS görüntü ters dalgacık dönüşümü (Inverse Wavelet Transform) yapılarak yüksek uzamsal çözünürlüklü MS görüntü elde edilir[9].



Şekil 5. Dalgacık ve IHS tabanlı yönteminin akış diyagramı

2.5.PSO Tabanlı Görüntü Birleştirme Yöntemi

2.5.1.PSO algoritması

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından kuş ve balık sürülerinin iki boyutlu davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir optimizasyon tekniğidir [16]. Bu iki boyutlu davranışlar; çevrelerine adapte olabilmek, zengin yiyecek kaynakları bulabilme ve avcılardan kaçabilme gibi 'bilgi paylaşma' yaklaşımı gerektirmektedir. Bilgi paylaşımı sayesinde sürüler, yiyecek ararken ya da avcılardan kaçarken, hedefe en yakın olan sürü elemanını takip ederler ve kendi hızlarını ve konumlarını başarılı elemana göre güncellerler.

2.5.2.PSO Uygulaması

Her parçacık n-boyutlu bir uzayda yayılır. i. parçacığı temsil eder. i. parçacığın kaydedilen önceki en iyi pozisyonunu (pbest) temsil eder. Popülasyondaki bütün parçacıklar arasında en iyi parçacık gbest (global) ile temsil edilir. Parçacığın topolojik komşuluğundaki en iyi pozisyon l (local) ile gösterilir. Parçacığın hızındaki değişim (velocity) ile gösterilir. Hız, her parçacığın elde ettiği pbest değeri ve o ana kadar ki gbest değeri değerlendirilerek yeniden güncellenir ve parçacıkların yeni pozisyonları oluşturulur. Durdurma koşulu sağlanıncaya kadar bu iterasyon devam eder. Hız, iki bileşenden oluşur; bilişsel bileşen ve sosyal bileşenleri[6].

2.5.3.PSO Tabanlı Görüntü Bölütleme

PSO Tabanlı Bir Görüntü Bölütleme çalışmasında, gauss olasılık fonksiyonlarından oluşan bir karışım kullanılarak verilmiş bir görüntünün histogramı uydurulmuş ve PSO algoritması bu olasılık fonksiyonları karışımının parametrelerini hesaplamıştır. Böylelikle yoğunluk fonksiyonu ile gerçek histogram arasındaki hatayı en aza düşürülmüştür[6].

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [p(x_i) - h(x_i)]^2 \quad (12)$$

kullandığımız PSO ile Bu problemi çözmek için aşağıdaki dikkate alınması gereken bileşenler:

- (1) Düşünölmüş bir problem için, parçacıklar temsil edilir.
- (2) Tüm parçacıklar uygunluk "fitness" fonksiyonuna göre bir değerdendirme yapılır[21].

1. Parçacık temsili: PSO de her parçacık parametre vektörü ile temsil edilir.

Pso parçacıkları bir aday çözümü olarak aşağıdaki şekilde göstermektedir

$\psi = (P_i, \mu_i, \sigma_i)$, bunun için $i = 1, 2, \dots, K$.

Böylece, parçacık temsili için, Gauss olasılık fonksiyonlar karışımını parametre şeklinde kullanılır.

2. Uygunluk fonksiyonu: uygunluk fonksiyonu paçacık için bir karar fonksiyonudur amacı bir parametre vectorünü bulup gaussian fonksiyon karışımını ve orjinal histogram arasındaki kare hatayı(E) en aza indirmek.

Karışım fonksiyonu tüm parametreleri bulmak için pso algoritmasının kullandıktan sonra, optimum eşik değerdleri belirlenebilir. eşik değeri genel olasılık hatası hesaplanmasıyla elde edilir.

İki komşu Gauss fonksiyonları için, verilen

$$E(T_i) = P_{i+1}E_1(T_i) + P_iE_2(T_i), \quad i = 1, 2, \dots, K-1 \quad (13)$$

$$E_i(T_i) = \int_{-\infty}^{T_i} p_{i+1}(x)dx \quad (14)$$

E: pikselin hatalı sınıflandırma olasılığı.

P: yoğunluk fonksiyonunun önsel olasılık.

İ: piksel sınıfı.

T: Eşik değeri

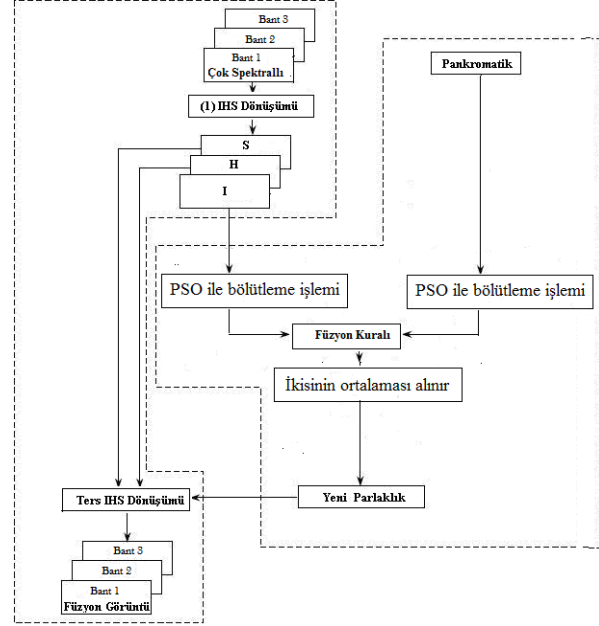
Aşağıdaki denklem optimum eşikleme(T) değerdini bulmak için kullanılır

$$AT_i + BT_i + C = 0 \quad (15)$$

2.5.4. IHS tabanlı PSO yöntemi

Bu çalışmada geliştirilen yöntem, IHS tabanlı PSO yöntemi ilk olarak IHS dönüşümü, çok spektrallı bant olan R, G ve B; IHS uzayına dönüşen ilk bantlardır. PAN ve I bantı pso algoritmasını kullanılarak bölütleme işlemi yapılır ve eşiklik değeri hesaplanır. Pankromatik ayrıştırmanın yaklaşıklık görüntüsü, I bileşeninin görüntüsü ile ortalaması alınır, Sonra, Pso deki etkili alan yoğunluk yaklaşma bantları pankromatik yaklaşım bantları ile değerdştirilir.

Birleştirilmiş görüntü sonra orjinal RGB uzayından geri IHS e ters bir dönüşüm gerçekteştirerek elde edilir.



Şekil 6. PSO tabanlı IHS yönteminin akış diyagramı

3. Pankromatik Keskinleştirme Sorunları:

Pankromatik keskinleştirme öncesi en önemli işlemlerden biri bu iki görüntünün düzgün olarak çakıştırılmasıdır. Pankromatik ve spektral bantların birbirleriyle çakıştırılması esnasında görüntülerde oluşan kayma sonuçta üretilen görüntüde bulanıklığa neden olabilmektedir. Bu kaymaların temel nedenleri ise:

- Sensörlerin çekim zamanları arasında 0.5 saniyeye kadar fark bulunabilmektedir. Bu fark hareketli nesnelerin farklı yerde görüntülenmesine, uydunun hareketi de göz önüne alındığında sabit nesnelerin dahi çakışmamasına yol açmaktadır[9].
- İlaveten sensörlerin anlık görüş alanı tamamen üst üste oturmayabilir.
- Ayrıca veri sağlayıcı tarafından ortorektifikasyon yöntemiyle birleştirilen çoklu görüntülerde çakıştırma hataları söz konusu olabilmektedir.

4. Keskinleştirme ile üretilen görüntülerin kalite değerdlendirmesi

Pan-sharpening ile üretilen görüntü kalite değerdlendirme işlemi (Korelasyon Katsayısı), RMSE (Karesel Ortalama Hata) ve RASE (Relative Average Spectral Error) gibi ölçütler aracılığı ile yapılabilir. Bu ölçütler sayesinde bir keskinleştirilmiş görüntünün orjinal MS görüntü ile ne kadar uyumlu ve benzer olduğu ve ayrıca spektral kalitesi belirlenebilir[11].

- **Katsayısı:** Bu ölçüt istatistik alanında çok bilinen bir ölçüttür. Görüntülerin her bantı arasındaki korelasyon kolayca hesaplanabilir ve genel olarak görüntü için korelasyon değeri istenir ise bantların korelasyonun ortalaması kullanılabilir.

$$\text{Corr}(B_i, B_j) = \frac{\sum_{M=1}^M \sum_{N=1}^N (B_i(m, n) - \bar{B}_i)(B_j(m, n) - \bar{B}_j)}{\sqrt{\left(\sum_{M=1}^M \sum_{N=1}^N (B_i(m, n) - \bar{B}_i)^2\right) \left(\sum_{M=1}^M \sum_{N=1}^N (B_j(m, n) - \bar{B}_j)^2\right)}} \quad (15)$$

Yukarıdaki formülde B_i (orijinal görüntü) ve B_j (füzyon görüntü) karşılaştırılacak bantları, B_i ve B_j bantların ortalama gri değerlerini, M ve N satır ve sütun sayısını temsil etmektedir. Korelasyon katsayısının değeri $[-1, +1]$ aralığındadır. Bu değer $+1$ 'e yaklaştıkça bantlar istatistiki olarak birbirine çok yakın -1 'e yaklaştıkça bantlar birbirine çok zıt demektir

• **RASE (Relative Average Spectral Error):**Bu ölçüt pansharpening metodunun başarısını ortaya koymak için ortalama gri değer ve RMSE değerlerini kullanır[23].

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B_i(m, n) - B_j(m, n)]^2}$$

Formüldeki $RSME$ bandının karesel ortalama hatasını, B_i (orijinal görüntü) ve B_j (füzyon görüntü) karşılaştırılacak bantları, N^2 ise görüntü.

4.1.Korelasyon Sonuç

$+1$ korelasyon değeri verilerin birbirlerine çok benzediklerini (yüksek korelasyon), -1 değeri ise verilerin birbirlerinin tamamen zıttı olduğunu göstermektedir. Orijinal görüntü ve birleştirilmiş görüntülerin bantları arasındaki korelasyon katsayıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1. Orijinal PAN ve sonuç görüntülerin bantları arasındaki korelasyon değerleri

Füzyon Yöntem	PAN Bant1 &Füzyon Bant1	PAN Bant2 &Füzyon Bant1	PAN Bant3 &Füzyon Bant1
Brovey Yöntemi	0.9527	0.9405	0.9652
IHS Yöntemi	0.9887	0.9952	0.9917
TBD Yöntemi	0.9900	0.9959	0.9958
Dalgacık Yöntemi	0.9155	0.9672	0.9462
PSO algoritması	0.9053	0.9699	0.9137

Tablo 2. Orijinal çokspektrallı ve sonuç görüntülerin bantları arasındaki korelasyon değerleri

Füzyon Yöntem	SPECT Bant1 &Füzyon Bant1	SPECT Bant2 &Füzyon Bant1	SPECT Bant3 &Füzyon Bant1
Brovey Yöntemi	0.8560	0.6929	0.8104
IHS Yöntemi	0.7862	0.8043	0.7320
TBD Yöntemi	0.7351	0.8103	0.6737
Dalgacık Yöntemi	0.9105	0.9327	0.8750
PSO algoritması	0.9545	0.9358	0.9250

4.2. RMSE Sonuçları:

Tablo 3. Orijinal PAN ve sonuç görüntülerin bantları arasındaki RMSE değerleri

Füzyon Yöntem	PAN Bant1 &Füzyon Bant1	PAN Bant2 &Füzyon Bant1	PAN Bant3 &Füzyon Bant1
Brovey Yöntemi	44.0604	57.2683	36.6100
IHS Yöntemi	49.5437	47.8831	49.5437
TBD Yöntemi	50.2026	41.3200	54.8416
Dalgacık Yöntemi	28.3792	27.8655	35.3526
PSO algoritması	8.7030	8.7030	8.7030

Tablo 4. Orijinal çokspektrallı ve sonuç görüntülerin bantları

Füzyon Yöntem	SPECT Bant1 &Füzyon Bant1	SPCT Bant2 &Füzyon Bant1	SPECT Bant3 &Füzyon Bant1
Brovey Yöntemi	17.5882	23.0488	21.7758
IHS Yöntemi	6.0818	8.6210	8.3655
TBD Yöntemi	6.7557	4.5726	4.3017
Dalgacık Yöntemi	26.6328	14.2941	20.2504
PSO algoritması	26.7513	18.7499	36.3389

arasındaki RMSE değerleri

5.Sonuç

Bu çalışmada yaygın olan füzyon yöntemleri uygulaması, uydu görüntüleri (QuickBird, 2.8m MS ve QuickBird, 0.7m) üzerinde matlab programı kullanarak yapılmıştır. aynı zamanda optimizasyon algoritması olan parçacık sürü optimizasyonu, füzyon teknikleri için bu çalışmada yeni bir yöntem olarak kullanılmıştır ve istatistik olarak iyi sonuç verdiğini gözlenmiştir. Amaç çok spektrallı görüntünün uzaysal çözünürlüğü artırılırken, spektral bilgisi korunmaya çalışmak.

Genelde görüntü füzyon yöntemleri, ya renk korunması açısından ya da uzaysal ayrıntı aktarımı açısından iyi sonuçlar vermektedir, ama her zaman her iki açıdan da iyi sonuç vermeyebilmektedir.

5.1.Görüntü Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan tüm füzyon yöntemlerinin iki görüntü üzerindeki uygulanması ve elde edilen sonuçlar aşağıdakişekilde gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 7. Elde edilen görüntü sonuçları: (a) Orijinal Pankromatik QuickBird (2.8 metre). (b) Orijinal Çok spektrallı QuickBird (0.7 metre). (c) Brovey yöntemi. (d) IHS yöntemi. (e) TBD yöntemi. (f) dalgacık dönüşümü. (g) PSO algoritması

Kaynaklar

- [1] Amro, J. Mateos, M. Vega, R. Molina, and A. K. Katsaggelos, "A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, p. 79, 2011.
- [2] Alparone, L., Wald, L., Chanussot, J., Thomas, C., Gamba, P., Bruce, L.M., 2007. Comparison of Pansharpening Algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion Contest. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 45, 3012-3021.
- [3] Bektaş Balçık, F., Göksel, Ç., 2009, SPOT 5 ve Farklı Görüntü Birleştirme Algoritmaları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Muh.Bolumu, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul.
- [4] E.D. Übeyli, İ. Güler, "Comparison of eigenvector methods with classical and model-based methods in analysis of internal carotid arterial Doppler signals", *Computers in Biology and Medicine*, 33(6), 473-493, 2003.
- [5] Bulatov, A., 2006, Çok odaklı görüntü füzyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [6] Chih-Chin Lai. "A Novel Image Segmentation Approach Based on Particle Swarm Optimization". *IEICE Transactions* 89-A(1): 324-327, 2006.
- [7] Fidan, S., 2006, Dalga kılavuzunda yayılan elektromanyetik dalganın dalgacık dönüşümü modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 55-90.
- [8] Göçeri, E., 2006, Visual C# 2005 kullanarak çok boyutlu görüntüler için jpeg2000 standardını destekleyen görüntü işleme uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 21-50.
- [9] SÜMENGEN S., ŞENARAS Ç. , ERDEM A., "Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri için Pankromatik Keskinleştirme Yöntemi" HAVELSAN AŞ., 06531, Ankara, 2014.
- [10] Y. Zhang, "Understanding image fusion," *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 70, no. 6, pp. 657-661, 2004.
- [11] V. Vijayaraj, N. H. Younan, and C. G. O'Hara, "Quantitative analysis of pansharpened images," *Optical Engineering*, vol. 45, p. 046202, 2006.
- [12] Tu, T.M., Huang, P.S., Hung, C.L. and Chang, C.P., 2004, "A Fast Intensity-Hue-Saturation Fusion Technique With Spectral Adjustment for IKONOS Imagery". *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 309-312.
- [13] Shettigara, V.K. (1992) "A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set." *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, Vol. 58, pp. 561-567
- [14] AR Gillespie, AB Kahle, RE Walker, "Color enhancement of highly correlated images. II. Channel Ratio and "Chromaticity" Transformation Techniques". *Remote Sensing Of Environment*. 22, 343-365 (1987).
- [15] Group, 2004, Wavelet Theory, in Aalborg University Department of Science and Technology, <http://www.miba.auc.dk/~04gr701/arbejdsblade/theoryWAVE.pdf>
- [16] Kennedy, J. , Eberhart, R. C. "Particle swarm optimization" Proc. IEEE int'l conf on neural Networks, Vol. IV, pp. 1942-1948. Piscataway, NJ, 1995.
- [17] Umr, 2005, Perfectly Matched Layers <http://www.emclab.umn.edu/emap4/PML.html>
- [18] E.D. Übeyli, İ. Güler, "Comparison of eigenvector methods with classical and model-based methods in analysis of internal carotid arterial Doppler signals", *Computers in Biology and Medicine*, 33(6), 473-493, 2003.
- [19] Luciano da Fontauro Costa and Roberto Marcondes Cesar Jr. *Shape Analysis and Classification: Theory and Practice* London CRC Press LLC, 2000.
- [20] Mustafa ÖZENDİ, Hüseyin TOPAN, Murat ORUÇ, "Pléiades-1A Görüntülerinin Pan-Sharpeneing Performansının İncelenmesi", 5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 14-17 October 2014, İstanbul.
- [20] X. Hu, R. Eberhart, Y. Shi. "Engineering optimization with particle swarm", IEEE Swarm Intelligence Symposium, Indianapolis, USA, 2003.
- [21] Luciano da Fontauro Costa and Roberto Marcondes Cesar Jr. *Shape Analysis and Classification: Theory and Practice* London CRC Press LLC, 2000.