

UZAKTAN ALGILAMADA GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME İÇİN KALİTE ANALİZLERİ

Eminnur AYHAN¹, Gülçin ATAY²

¹Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Ayhan.eminnur@gmail.com

² Harita Mühendisi., İller Bankası, Samsun, gulcin.atay@gmail.com

ÖZET

Günümüzde yer gözlem uydularından farklı konumsal ve spektral çözünürlükte görüntüler elde edilmektedir. Değişik kullanım amaçları için aynı veya farklı uydulardan alınan görüntülerin birleştirme işlemleri farklı görüntü birleştirme yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerin sonucunda konumsal ve spektral açıdan kalitesi artırılmış yeni görüntüler elde edilir.

Çalışmada Brovey dönüşüm, geliştirilmiş IHS, Ana bileşen analiz ve dalgacık PC dönüşüm teknikleri kullanılarak Ikonos görüntüsünün pankromatik ve multispektral görüntüleri birleştirildi. Farklı birleştirme tekniklerinden elde edilen sonuç görüntülerin konumsal ve spektral analizleri değerlendirildi. Brovey, IHS ve PCA dönüşüm yöntemlerinde spektral bilgiden daha çok konumsal bilginin gelişimi korunurken, dalgacık dönüşüm yönteminde orijinal TM görüntüye çok yakın renk bilgisi sağlandığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Görüntü Birleştirme, İkonos, Spektral değerlendirme, Konumsal değerlendirme.

ABSTRACT

THE QUALITY ANALYSIS OF REMOTE SENSING IMAGE FUSION

Different spatial and spectral resolutions images are obtained to nowadays earth observation satellites. For several usage purposes, the images the same or different satellites use different assembly operations are carried out with different methods of image fusion. As a result of these operations the quality of the spatial and spectral point of view is obtained with the new images.

In this study, Brovey transformation, improved IHS, Principal Component Analysis and Wavelet PC transform techniques using Ikonos panchromatic and multispectral images were combined. Different techniques of combining spatial and spectral analysis of images obtained from the results were evaluated. The wavelet transform method is observed very close color information to the original TM image, while the Brovey, IHS and PCA techniques place much more emphasis on the spatial information than the spectral information.

Keywords: Image fusion, Ikonos, Spectral evaluation, Spatial evaluation.

1. GİRİŞ

Yüksek konumsal çözünürlüklü pankromatik veri ile düşük konumsal çözünürlüklü multispektral verilerin birleştirilmesi, son yılların ilgi çeken konularındandır. Pansharpening olarak adlandırılan bu işlem piksel düzeyli bir birleştirme tekniğidir. Görüntü birleştirme, MS görüntülerden gerekli spektral bilgi ve PAN görüntülerin yüksek konumsal bilgi avantajını almak için, spektral bilgi gibi yüksek konumsal çözünürlüklü MS görüntüler üretme anlamında sıklıkla kullanılan etkili ve ekonomik bir işlemdir. Bu görüntü, çeşitli uzaktan algılama uygulamaları için önemlidir (Zhang and Hong 2005).

İlk uygulamalar Landsat MSS verisi ile gerçekleştirilmiştir. (4, 6 ve 7) üç band, 80m. çözünürlüğündeki band5'in ağırlıklı yüksek frekans bilgisi kullanılarak konumsal olarak zenginleştirilmiştir (240 m. den 80 m.ye) (Nikolakopoulos, G., 2004).

Görüntü birleştirme algoritmaları Renk, istatistiksel ve dalgacık (Wavelet) dönüşüm bazlı yöntemler olarak gruplandırılabilir. Renk tabanlı örnekler; IHS (Intensity, Hue and Saturation), Brovey ve SVR (Synthetic Variable Ratio) yöntemleridir. İstatistiksel görüntü kaynaştırma yöntemleri multispektral görüntüde eksik olan detayları pankromatik ve multispektral görüntülerin istatistiksel özelliklerini kullanarak belirler. Bu grup yöntemlere PCA (Principal Component Analysis), lineer regresyon yöntemi (Price, 1999) ve değişik kriter tabanlı görüntü kaynaştırma yöntemleri örnek olarak verilebilir. Dalgacık dönüşümü tabanlı yöntemlerde yüksek çözünürlüklü görüntü, değişik mekansal çözünürlüklerde; Düşük Çözünürlüklü Görüntü, Yatay Görüntü, Dikey Görüntü, Diyagonal Görüntü olarak 4 farklı alt görüntüye ayrıştırılır. Yatay, dikey ve diyagonal görüntüler konum bilgisi ihtiva eden dalgacık katsayılarını taşımaktadır. Pankromatik görüntüden elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntü, multispektral görüntü üzerinde seçilmiş bant ile yeri değiştirilir. Bu işlem tüm bantların dönüşümü yapılmaya kadar devam eder. Son olarak tersine dönüşüm yapılarak sonuç görüntü elde edilir. Dalgacık PC yöntemi, Mallat'ın

dalgacık dönüşümü yöntemi, à trous ve M-bant dalgacık dönüşümü yöntemleri dalgacık dönüşümü kullanan yöntemlere örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada Brovey dönüşüm, Mod IHS dönüşüm, Ana Bileşen Analizi ve Dalgacık PC dönüşüm yöntemleri gibi görüntü birleştirme metodları kullanılarak İkonos multispektral ve pankromatik görüntüler arasında görüntü birleştirme gerçekleştirilmiştir. Birleştirilmiş görüntüler nitelik ve nicelik (qualitative and quantitative) değerlendirme yaklaşımları açısından incelenmiştir.

1.1 Görüntü Birleştirme Algoritmaları

Brovey dönüşümü orana dayalı bir algoritma ile görüntüleri birleştirir. Brovey dönüşüm (Erdas 1999), SVR teknikleri Şekil 1 de gösterilen algoritma ile gerçekleştirilir.

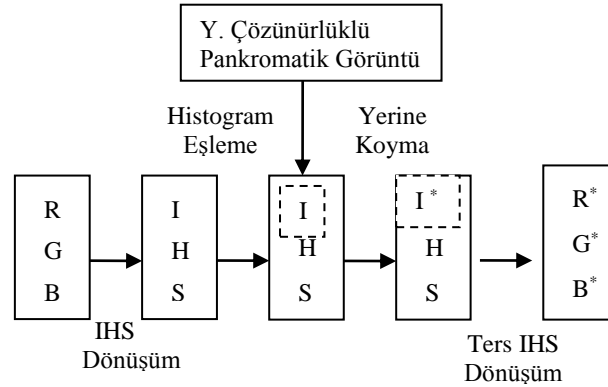
$$\text{Birleştirme} = (\text{Multispektral Görüntü } i / \text{Multispektral Görüntü Toplam}) * \text{Yüksek Çözünürlüklü Görüntü}$$

$$i: 1, 2, 3, \dots, \quad \text{Multispektral Görüntü Toplam} : \text{Multi}_1 + \text{Multi}_2 + \text{Multi}_3 + \dots$$

Şekil 1. Oran Birleştirme algoritması.

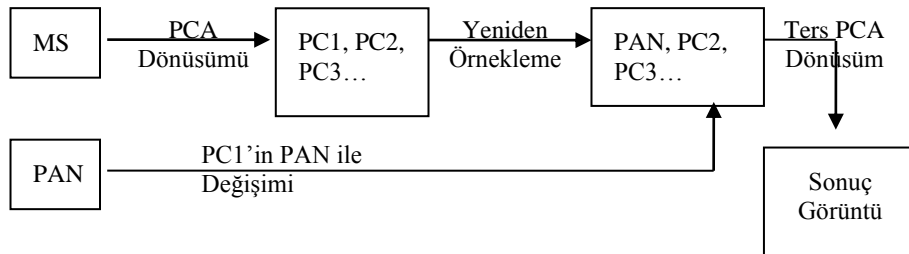
IHS dönüşümü (Yansıma Şiddeti, Renk Tonu, Doygunluk), 3 girdi multispektral bandı RGB uzayından IHS uzayına dönüştürmeyi içerir. En yüksek çözünürlüklü pankromatik band yoğunluk bandının yerine geçirilir. Ters IHS dönüşümü ile pankromatik bandın konumsal yapısı korunarak RGB uzayı içerisine geri döndürülür (Vrabel, 1996; Zhou ve diğerleri, 1998; Siddiqui, 2003; Hurd and Civco, 2009).

Gelişmiş IHS yöntemi; birleştirilmiş spektral bandların orijinal veriye daha iyi uyumu için (Siddiqui, 2003) tarafından geliştirilen IHS algoritmasını kullanır. Şekil 2 genel IHS dönüşüm işlemini göstermektedir.



Şekil 2. IHS Dönüşüm algoritması.

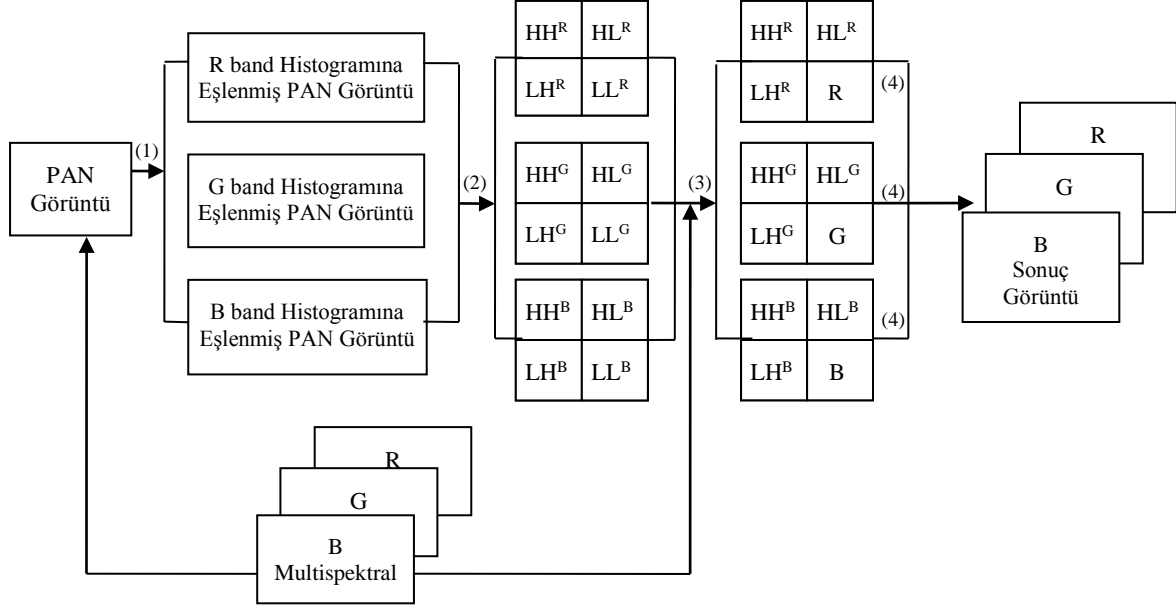
Ana Bileşen Analiz dönüşümü, çok değişkenli ve aralarında yüksek korelasyon bulunan verileri, aralarında korelasyon olmayan yeni bir koordinat sistemine dönüştüren doğrusal bir dönüşümdür. Yeni bileşenler, birbirine dik eksenlere sahip olduğundan arasında herhangi bir korelasyon yoktur. İlk bileşen en fazla varyansı içerir ve diğer bileşenler azalan varyans değerlerine sahiptir. En fazla varyansı içeren ilk bileşen aynı zamanda en fazla bilgiyi de içerir (Gül ve diğerleri, 2013).



Şekil 3. Ana Bileşen Dönüşüm iş akışı (Vijayaraj, 2004).

Ana bileşen dönüşümü multispektral görüntü bantlarına uygulanır ve ana bileşenler hesaplanır. Birinci ana bileşen ile histogram eşlemesi yapılmış pankromatik görüntü yer değiştirilir. Ters ana bileşen dönüşümü ile tekrar görüntü uzayına dönülür (Vijayaraj, 2004), (Chavez ve diğerleri, 1991). Ana Bileşen Analiz Dönüşümü keskinleştirilecek alana duyarlı olan ve seçilmiş görüntü alt gruplara dayalı olarak değişen fusion sonuçları üreten bir istatistiksel yöntemdir (Ehlers and Klonus 2004; Ehlers ve diğerleri, 2010).

Dalgacık dönüşümü iki boyutlu sinyalleri–sayısal görüntü–çoklu çözünürlüklü analiz için farklı çözünürlük düzeylerine ayırmak için kullanılır. Bu çoklu çözünürlük karakteristiği farklı çözünürlüklere sahip görüntüleri birleştirmede kullanılır. Aşağıdaki Şekil 4 bir dalgacık görüntü birleştirme işleminin genel içeriğini gösterir. İlk olarak 3 yeni pankromatik görüntü sırası ile multispektral görüntünün R,G,B bantlarının histogramlarına göre üretilir. Sonra yeni yüksek çözünürlüklü görüntüler düşük çözünürlüklü görüntülere ve 3 dalgacık katsayısına ki bunlar detay görüntüler olarak isimlendirilen bölgesel konumsal detay bilgisini içerir, ayrıştırılır. Ayrıştırılan düşük çözünürlüklü pankromatik görüntüler gerçek düşük çözünürlüklü multispektral görüntü bantları (B,G,R) ile yer değiştirilir. Son adımda, her bir bölgesel konumsal ve multispektral bantların (B,G,R) birini içeren diziyeye ters dalgacık dönüşümü uygulanır. 3 defa ters dalgacık dönüşümünden sonra Pankromatik görüntüdeki yüksek çözünürlüklü multispektral bantlara enjekte edilmiş olur. Sonuçta da birleştirilmiş yüksek çözünürlüklü multispektral bantlar oluşur (Zhang, Y., Hong G., 2005).



Şekil 4. Dalgacık Görüntü Birleştirme Genel İşleyişi. Örneğin, LL^R düşük bir çözünürlük düzeyinde kırmızı band histogramına göre Pankromatik görüntünün tahmini görüntüsünü, HH^R , HL^R ve LH^R diyagonal, yatay ve düşey yönlere uygun dalgacık katsayılarını (ya da detay görüntüleri) ifade eder.

Dalgacık PC yönteminde, multispektral görüntüye PCA dönüşümü uygulanarak konumsal bilgiyi temsil ettiği düşünülen 1.ana bileşen elde edilir. 1. Ana bileşen histogramına, histogramı eşlenen pankromatik görüntüye dalgacık dönüşüm filtreleri (Mallat, à trous veya m dalgacık) uygulanır. En sonunda 1. ana bileşene pankromatik görüntüdeki konumsal detaylar (histogramı eşlenen pankromatik görüntüye uygulanmış dalgacık filtreler sonunda elde edilen düzlemler) eklenerek ters PCA dönüşümü ile görüntü keskinleştirme, birleştirme gerçekleştirilir (González-Audícana ve diğerleri, 2005).

1.2 Birleştirilmiş Görüntü Kalite Değerlendirmesi

Genel olarak birleştirilmiş görüntü kalite değerlendirme yaklaşımları niteliksel ve nicel değerlendirmeler olarak iki ana grupta toplanmaktadır. Niteliksel analiz bir başka deyişle görsel değerlendirme multispektral ve birleştirilmiş görüntü arasındaki renk karşılaştırmaları ile pankromatik ve birleştirilmiş görüntü arasındaki konumsal detay karşılaştırmalarını kapsar. Nicel yaklaşım ise referans multispektral, pankromatik bantlar ve birleştirilmiş görüntü arasındaki spectral ve konumsal benzerlikleri ölçmeyi sağlayan matematiksel, istatistiksel yaklaşımları içermektedir. İstatistiksel değerlendirmeler standart sapma, bantlar arası korelasyon, karesel ortalama hata (RMSE), Ergas değeri, Entropy değeri ve sınıflandırma doğruluğu vb. ile yapılabilmektedir.

- Ortalama değer ve standart sapma bir görüntünün spectral bilgileri ile ilgili en basit değerlerdir. Birleştirilmiş (Pansarped) ve orijinal multispektral görüntülerin bu değerleri arasındaki mutlak farklar değerlendirildi (E-1). Referans ve birleştirilmiş görüntü arasındaki standart sapma değer farkları 0'a ne kadar yakın olursa o derece iyi bir birleştirme sağlandığı söylenebilir.

$$\begin{aligned} \text{Ort. Değ. Değişimi} &= \left| \text{Çıktı Ortalama Değ.} - \text{Orijinal Ortalama Değ.} \right| \\ \text{Std. Sapma Değişimi} &= \left| \text{Çıktı Std Sapma Değ.} - \text{Orijinal Std. Sapma Değ.} \right| \end{aligned} \quad (1)$$

- İki görüntü arasındaki yakınlık bantlar arasındaki korelasyon yardımıyla belirlenebilir (E- 2), (Vijayaraj, 2004).

$$Corr(A/B) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (A_{i,j} - \bar{A})(B_{i,j} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (A_{i,j} - \bar{A})^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (B_{i,j} - \bar{B})^2}} \quad (2)$$

Korelasyon bantlar arasındaki ilişkiyi ifade eder. Burada A ve B arasında korelasyon hesaplanan iki görüntüdür. Orijinal MS görüntü ve Pansharped edilmiş görüntüler arasındaki korelasyon, keskinleştirilmiş görüntünün spektral doğruluğunu, bozulmamışlığını gösterir (Vijayaraj ve diğerleri, 2004). Bu değerlerdeki herhangi bir değişim spektral içeriğin bozulmasını gösterir. Korelasyon değerleri -1 ile 1 arasında yer almaktadır. Referans ve birleştirilmiş görüntü arasındaki en yüksek korelasyon en iyi uyum değerini gösterir (Ehlers ve diğerleri, 2010).

- Karesel ortalama hata (RMSE) ortalama gri değerindeki değişimleri, bir başka ifade ile spectral distorsiyonu gösterir.

$$MSE^2 = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i,j} |f(i,j) - b(i,j)|^2 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{i,j} |f(i,j) - b(i,j)|^2}$$

Eşitlik (3) de f(i,j) ve b(i,j) iki görüntü, M, N görüntülerin piksel sayılarıdır. Karesel ortalama hata orijinal ve birleştirilmiş görüntünün ortalama ve standart sapmasının farkı yardımı ile hesaplanır. En uygun değer, tekrar 0 dır (Ehlers ve diğerleri, 2010).

- ERGAS indeksi (relative dimensional global error in synthesis) (Wald, 2000), görüntü birleştirmedeki rölatif (nispi, bağlı) boyutsuz global hata (E- 4):

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(RMSE^2 \frac{(B_i)}{M_i^2} \right)} \quad (4)$$

Burada h pankromatik görüntü çözünürlüğü, l MS görüntü çözünürlüğü, N birleştirme işleminde Bi spektral bantların sayısı, Mi her bir spektral bantın ortalama parlaklığı ve RMSE, (E-5) de hesaplanmış karesel ortalama hata.

$$RMSE^2(B_i) = \text{mean difference}^2(B_i) + \text{standard deviation}^2(B_i) \quad (5)$$

- Entropy, görüntüdeki bilgi içeriğini gösteren bir ölçüttür (E-6). Birleştirilmiş görüntü, referans multispectral görüntü ile karşılaştırıldığında daha fazla bilgi içermektedir (Vijayaraj, 2004).

$$H = - \sum_{i=1}^d p(d_i) \log_2(p(d_i)), \quad (6)$$

Burada d olası, mümkün gri seviyesi sayısını ve p(di); belirli bir gri seviyesi (di)'nin olma olasılığıdır. Genel olarak, ne kadar büyük entropy değeri, o kadar çok bilgi içeriği ve daha kaliteli görüntü birleştirme işlemini ifade eder.

- Konumsal Değerlendirme, Görüntü birleştirme işleminin konumsal kalitesinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri (laplacian) filtre kullanımınıdır. Karşılaştırılacak iki görüntüdeki konumsal detay bilgisinin gösterimi laplace filtre kullanılarak çıkarılır (E-7). Daha sonra bu iki filtrelenmiş görüntü arasındaki konumsal korelasyon katsayısı hesaplanır. Konumsal korelasyon katsayısı detay bilgisini gösterir. Görüntü birleştirme işlemi sırasında yüksek korelasyon, yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntüden daha çok konumsal bilginin alındığını ifade etmektedir (Chen ve diğerleri, 2009).

$$\left\| \begin{array}{ccc} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{array} \right\| \quad (7)$$

- Sınıflandırma Doğruluğu, Bir multispektral sınıflandırma yardımıyla arazi kullanım haritaları veya değişim belirleme tarımsal ürün dağılımı gibi tematik bilgileri çıkarmak için birleştirilmiş görüntülerin kullanılabilmesi için, görüntü birleştirme işleminin başlangıç MS görüntüsünün spektral bilgisini değiştirmemesi gereklidir (González-Audicana ve diğerleri, 2005).

Görüntü piksel gri değerlerine dayalı bir işlem olan piksel tabanlı sınıflandırmada amaç, görüntüyü belirlenecek bir algoritmaya göre özellikleri benzer sayılan kümelere ya da başka bir ifade ile sınıflara bölmektir. Pansharpening işleminde de çıktı ürünün orijinal ürüne göre değişimini belirlemede sınıflandırma sonuçları spektral özelliklerin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Çalışmada orijinal multispektral görüntü eğitimsiz sınıflandırma işlemine tabi tutularak “isodata clustering” kümeleme algoritması ile sınıflara ayrılmıştır. Daha sonra ise görüntü birleştirilmesi yapılmış ürünler aynı şekilde sınıflandırılmış ve orijinal multispektral görüntü sonuçları baz alınarak seçilen kontrol noktaları ile doğruluk analizi yapılmış, doğruluk yüzdeleri ve kapa değerleri hesaplanmıştır.

2. UYGULAMA VE DEĞERLENDİRME

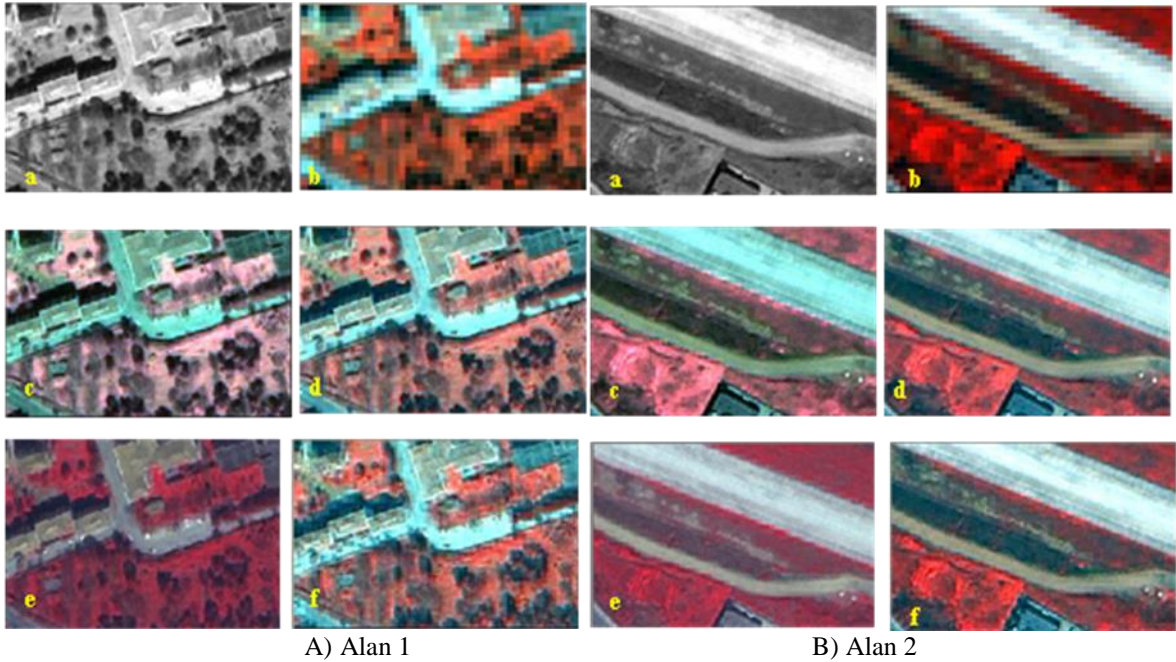
Çalışmada kullanılan Ikonos uydu görüntüsü Türkiye'nin kuzeyinde yer alan Trabzon ilini aittir. Görüntü birleştirme işlemleri Erdas Imagine 8.6 programı ile gerçekleştirilmiştir. Sayısal değerlendirme işlemleri ise Matlab ve Microsoft Excel yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Çalışma alanının tamamı yaklaşık 126 hektar olup pankromatik band da 1181*1082, multispektral band da ise 298*274 pikselden oluşmaktadır.

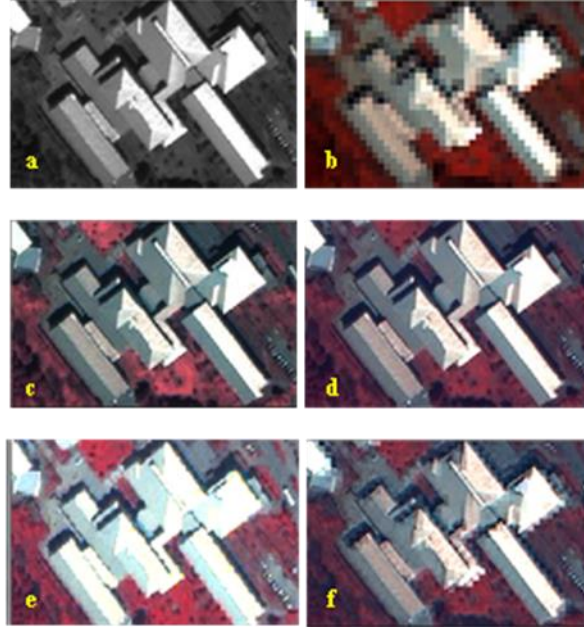
Brovey dönüşüm, Mod IHS, Ana bileşen analizi (PCA) ve Dalgacık PC dönüşüm sonuçları görsel ve istatistiksel değerlendirme açısından incelendi. İstatistiksel değerlendirme ortalama değer, standart sapma, bandlar arası korelasyon, karesel ortalama hata, Ergas değerleri ve Entropy değerleri ile yapıldı. İlave olarak, konumsal değerlendirme ve sınıflandırma duyarlılığı, doğruluğu da incelendi.

2.1 Görsel Değerlendirme

Görsel analiz, referans ve birleştirilmiş görüntü benzerliği ve netliğinin tespitini sağlar. Görsel analizler yüksek çözünürlüklü MS görüntülerin konumsal çözünürlüğünün, düşük çözünürlüklü MS görüntülerden çok daha yüksek olduğunu gösterir (Chen ve diğerleri, 2009).

Birleştirilmiş görüntü üzerinde seçilen üç farklı alana ait aynı ölçekli görsel sonuçlar Şekil 5 de gösterilmiştir.





C) Alan 3

Şekil 5. Alan 1, Alan 2, Alan 3 için Görsel değerlendirme. Burada a- Pankromatik, b- Multispektral, c-Brovey Yöntem d- Ana Bileşen Analiz yöntem, e- Mod IHS dönüşüm, f- Dalgacık PC dönüşüm sonucu elde edilen görüntüleri göstermektedir.

Kullanılmış metodların görsel değerlendirmesinde, orijinal multispektral görüntüye olan renk yakınlığı açısından geliştirilmiş IHS dönüşümü bütün sonuçlar için en iyi sonucu vermiştir. Bu yöntemi sırası ile Dalgacık PC, Ana Bileşen Analizi ve Brovey dönüşümü izlemiştir (Şekil 5).

Pankromatik band ile konumsal değişimlerin görsel değerlendirmesinde ise, en iyi sonuç PCA yönteminden elde edildi. Diğer sonuçlar sırası ile Mod IHS, Dalgacık PC yöntemlerinden elde edildi (Şekil 5).

Görsel sonuçlarda, dalgacık dönüşüm yöntem sonuçlarında bir görsel bozulmanın olduğu görülebilir. Dalgacık tabanlı dönüşüm spektral anlamdaki başarısını konumsal detay kapasitesinin artırılmasında gösterememektedir. Bu yöntemde görsel anlamda objelerin geometrilerinde deformasyonların olduğu gözlemlenir. Bu yöntemler görüntüleri yatay, dikey ve çapraz yönlerde filtreledikleri için görüntüde objelerin geometrisinde bozulmalar olabilir. Bu durum özellikle spektral doku çeşitliliği ve gri değerlerde hızlı değişimlerin olduğu Alan 1 ve Alan 3 de çok daha belirgindir.

2.2 İstatistiksel Değerlendirme

İkonos görüntüsünün görüntü birleştirme işlem sonuçları yukarıda bahsedilmiş kriterlere göre incelendi. Orijinal MS görüntü ve birleştirilmiş görüntülerin ortalama değer ve standart sapmaları karşılaştırıldı. Kullanılmış yöntemlere göre mutlak farklar Çizelge 1 de gösterilmiştir. Parlaklıkta, orijinal ve birleştirilmiş görüntülerin ortalamaları arasındaki fark mümkün olduğu kadar 0 a yakın olmalıdır. Parlaklıkta, görüntü farklarının standart sapması global olarak verilen herhangi bir pikseldeki hata seviyesini gösterir (Wald ve diğerleri, 1997). Bu parametrenin değeri ne kadar düşükse birleştirilmiş görüntünün spektral kalitesi daha iyidir (González-Audicana ve diğerleri, 2005). Ortalama değer ve Standart sapma farklarında en iyi sonuçlar Dalgacık PC metodundan elde edilmiştir.

Çizelge 1. Farklı Görüntü birleştirme yöntemleri için ortalama değer ve standart sapma farkları.

Birleştirme Yöntemi	Ortalama Değer Farkları				Standart Sapma Farkları			
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Brovey	7.10	8.11	8.80	-	3.36	4.61	6.10	-
Mod- IHS	-	0.12	0.44	0.42	-	1.28	1.42	2.02
PCA	6.23	8.55	9.36	7.29	1.67	2.29	2.40	3.34
Dalgacık PC	0.33	0.43	0.44	0.52	0.01	0.02	0.08	0.08

Orijinal görüntünün bandları arasındaki Korelasyon katsayıları ve birleştirilmiş yeni görüntülerin bandları arasındaki korelasyon katsayıları hesaplandı. Daha sonra değerler arasındaki farklar elde edildi. Birleştirme yöntemlerine göre,

orijinal görüntünün değerlerine göre korelasyon katsayılarındaki değişimler Çizelge 2 de gösterildi. Çizelge, orijinal görüntünün bandları arasındaki korelasyon katsayıları Dalgacık PC dönüşümü ile oluşturulan birleştirilmiş görüntünün değerleri ile benzer olduğunu gösterir.

Çizelge 2. Korelasyon değer farkları.

Metod	Korelasyon Değerlerinin Değişimi					
	Band 1&2	Band 1&3	Band 1&4	Band 2&3	Band 2&4	Band 3&4
Brovey	0.00016	0.01717	-	0.00581	-	-
Mod- HIS	-	-	-	0.00082	0.02502	0.02601
PCA	0.00216	0.00388	0.03285	0.00092	0.03102	0.03201
Wavlet PC	0.00028	0.00053	0.00054	0.00013	0.00062	0.00062

Ayrıca Çizelge 3 de gösterilen Karesel ortalama hata sonuçları incelendiğinde, Dalgacık PC dönüşüm yönteminin en iyi sonuca sahip olduğu, sırasıyla Mod IHS, PCA ve Brovey yöntemlerinin onu takip ettiği görülebilir.

Çizelge 3. Birleştirilmiş görüntüler için Karesel ortalama hata değerleri.

Birleştirme Yöntemi	Karesel Ortalama Hata Değerleri			
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
Brovey	15.92	20.75	25.59	-
Mod- HIS	-	17.77	18.66	15.02
PCA	14.35	19.63	21.44	16.81
Wavlet PC	10.23	16.21	12.12	14.10
İdeal Değer	0.00	0.00	0.00	0.00

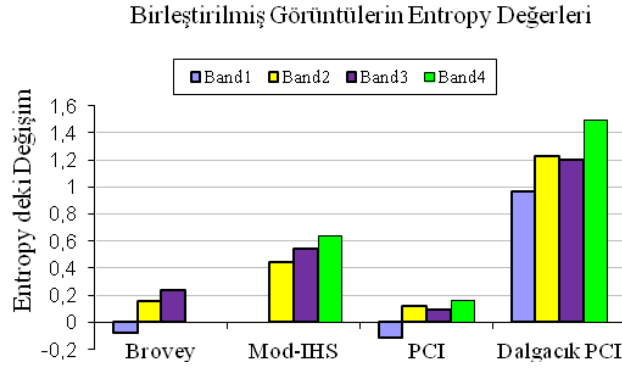
Ne kadar düşük ERGAS değeri, birleştirilmiş görüntülerin o kadar yüksek spektral kalitesini ifade etmektedir. (González-Audícana ve diğerleri, 2005). ERGAS birleştirilmiş ve referans görüntülerin ortalama değerlerindeki farkı göz önüne alır ve o olası herhangi bir radyometrik distorsiyonu yakalayabilir. Çalışmada Çizelge 4 de elde edilmiş Ergas değerleri incelendiğinde, Dalgacık PC, PCA, Mod IHS ve Brovey yöntemleri iyiden kötüye giden sıralamayı göstermektedir.

Çizelge 4. Birleştirilmiş görüntülerin ERGAS değerleri.

Birleştirme Yöntemi	ERGAS
Brovey	12.4312195
Mod - IHS	7.9051153
PCA	7.3902288
Dalgacık PC	7.1490511
İdeal durum	0.0

Son olarak; orijinal MS görüntü ve yeni birleştirilmiş görüntülerin Entropy değerleri hesaplandı. Metrik bilgideki artış, orijinal MS görüntüdeki her bir bandın entropisi ve birleştirilmiş görüntüde karşılık gelen banddaki değerler arasındaki fark olarak belirlenir. Görüntü birleştirme kalitesini değerlendirmek için, Entropy indeksindeki değişim metrik kalite olarak uygulandı.

Orijinal görüntü ve birleştirilmiş görüntüler arasındaki Entropy değerleri farkları Şekil 6 da gösterilmiştir. Bilgi artışı pozitif bir değişimi gösterirken, azalan değer negatif gösterir. Bütün bandlar için maksimum artış Dalgacık PC yönteminde bulundu. Bu yöntemi sırası ile Mod IHS, Brovey ve PCA yöntemleri izlemiştir. Şekil 6 dan Dalgacık PC yönteminin entropi değerlerinin en iyi olduğu gözlemlenir.



Şekil 6. Birleştirilmiş Görüntülerin Entropy Değerleri

2.3 Konumsal Değerlendirme

İyi bir birleştirme yöntemi, pankromatik algılayıcınıninkine benzer bir konumsal çözünürlükte çalışmış gibi multispektral algılayıcı detaylarının düşük çözünürlüklü multispektral görüntülerin her bir bandı içine enjekte edilmesine, aktarılmasına izin vermelidir. Bunun anlamı ne kadar yüksek ortalama konumsal korelasyon katsayı değeri, o kadar yüksek konumsal çözünürlük kalitesine sahip multispektral görüntüler olacaktır (Chen ve diğerleri, 2009).

Konumsal değerlendirmede pankromatik band referans alınmıştır. Konumsal korelasyon katsayısının 1'e yaklaşması konumsal kalitenin daha iyi olduğunu ortaya koymaktadır.

Ortalama konumsal korelasyon sonuçları incelendiğinde, pankromatik görüntü ile en iyi uyum PCA metodundan elde edildi. Bu metodu sırasıyla Mod IHS, Brovey ve Dalgacık PC metotları izlemiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Birleştirme Yöntemleri için Konumsal Korelasyon Sonuçları.

Yöntem	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Ortalama
Brovey	0.950126	0.994143	0.759903	-	0.901390
Mod- HIS	-	0.934569	0.936638	0.926179	0.932462
PCA	0.945130	0.988270	0.984567	0.890286	0.952063
Wavlet PC	0.748770	0.777853	0.774916	0.710321	0.752965

2.4 Sınıflandırma Doğruluğu

Sınıflandırma ile ilgili değerlendirmede, multispektral görüntü eğitimsiz sınıflandırma ile sınıflandırılmıştır. Daha sonra farklı yöntemlere göre birleştirilmiş görüntüler aynı yöntem ile sınıflandırılıp sınıflandırma sonuçları multispektral görüntü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tüm görüntülerin Doğruluk değerlendirmesi için multispektral görüntü üzerinde 100 kontrol noktası seçilip, bu noktalara göre doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 6'dan görüldüğü gibi sınıflandırmada en iyi sonuçlar Dalgacık PC dönüşüm yönteminden elde edilmiştir. Önemli nokta Brovey dönüşüm yöntem sonuçları, PCA yönteminin sonucu kadar iyi olmasıdır. Gerçekte, bu durum Brovey yöntemi Kappa değeri PCA yönteminden daha yüksek olmasından anlaşılabilir.

Çizelge 6. Görüntülerin sınıflandırma sonuçları.

Birleştirme Yöntemi	Doğruluk Değerlendirmesi	
	Doğruluk (%)	Kappa
Brovey	30	0.2137
Mod - IHS	54	0.4755
PCA	30	0.2103
Dalgacık PC	59	0.5305

3. SONUÇLAR

İkonos multispectral ve pankromatik görüntülerinden oluşturulan görüntü birleştirme işlemlerinde görsel, istatistiksel, konumsal değerlendirmeler ve sınıflandırma sonuçları incelenmiştir.

Görsel değerlendirmelerinde, en iyi sonuçlar konumsal açıdan PCA yöntemi ve spektral açıdan Mod IHS dönüşüm yönteminden elde edilmiştir. Dalgacık tabanlı dönüşümde renk performansında sağlanan başarı konumsal anlamda elde edilememiştir. Bu, dalgacık dönüşüm yöntemlerinin yatay, dikey ve çapraz yönlere filtrelenmelerinden kaynaklanan bir dezavantajdır.

Multispektral görüntüye göre ortalama değer ve standart sapma değişimi, birleştirilmiş görüntünün spektral kalitesi ile ilgili ölçütlerdir. Ortalama değer ve standart sapma değişim sonuçlarında, minimum değişimler Dalgacık PC yöntemlerinde belirlenmiştir. Çalışmada kullanılmış diğer spektral kalite ölçütleri korelasyon katsayılarındaki değişim, Karesel ortalama hata ve Ergas değerleridir. Korelasyon katsayılarındaki değişime göre, dalgacık PC yöntemi ile orijinal katsayıların korunduğu söylenebilir. Karesel ortalama hata değerleri pikseldeki ortalama gri değer değişimini ifade eder. Karesel ortalama hata değerleri açısından dalgacık dönüşüm yöntemi en iyi sonucu vermiş, onu sırası ile Mod IHS, PCA ve Brovey metotları izlemiştir. Ergas değeri; referans ve birleştirilmiş görüntülerin ortalama değerlerindeki farkı göz önünde bulundurarak, olası herhangi bir radyometrik distorsiyonu yakalayabilir. Çizelge 4 deki Ergas değerleri analiz edildiğinde, minimum radyometrik distorsiyon sırası ile Dalgacık PC, PCA, Mod IHS ve Brovey yöntemlerinde bulunmuştur.

Konumsal korelasyon katsayısı görüntülerden birindeki detay bilgisinin diğerinden ne kadar çok olduğunu gösterir. Bunun anlamı; yüksek çözünürlüklü görüntüler için ne kadar yüksek ortalama konumsal korelasyon katsayısı değeri, o kadar yüksek konumsal kalite demektir (Chen ve diğerleri, 2009). Ortalama konumsal korelasyon sonuçları incelendiğinde, pankromatik görüntü ile en iyi uyum PCA yönteminden elde edildi. Bu yöntemi sırası ile Mod IHS, Brovey ve Dalgacık PC yöntemleri tarafından izlendi (Çizelge 5).

Bir diğer metrik bilgi ölçütü Entropy değerleridir. Metrik bilgideki artış, orijinal MS görüntünün her bir bandının ve keskinleştirilmiş görüntüdeki karşılığı bandın Entropy değerindeki farktır. Dalgacık PC yönteminin entropy değerinin en iyi olduğu Şekil 6'dan gözlemlenebilir. Onu Mod IHS, Brovey ve PCA bazlı dönüşüm yöntemleri izlemiştir.

Birleştirilmiş görüntülerin kalitesi ayrıca sınıflandırma doğruluklarına göre incelenmiştir. Tüm istatistiksel sonuçlar için genel olarak Dalgacık PC dönüşüm yöntemi birleştirilmiş görüntüler için en iyi sonuçlara sahiptir. Fakat Brovey ve PCA yöntemleri arasında hangisi daha iyi olduğuna karar verilemedi?

Brovey, IHS ve PCA teknikleri spektral bilgidan daha çok konumsal bilgiyi vurgularlar. Onlar daha yüksek konumsal sonuçlar verebilirler ancak spektral aslına uygunluğu daha az korurlar. Dalgacık dönüşüm yöntemi, orijinal MS görüntüye çok daha yakın bir rengi gerçekleştirebilir. Dalgacık yöntem, dalgacık ayrışma seviyesini dengeleyerek spektral bilgi ve konumsal yapı arasındaki dengeyi kontrol edebilir. Ancak bu işlem karmaşıklık içerir ve frekans ayrıştırma ve yeniden oluşturma işlemi zaman alıcıdır (Ayhan, E., Atay, G., 2012).

KAYNAKLAR

Ayhan, E., Atay, G., 2012, Spectral and Spatial Quality Analysis in Pan Sharpening Process, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40(3), 379-388.

Chavez, W. J., Sides, S. C., & Anderson, J. A., 1991, Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: TM and SPOT pan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(3), 295-303.

Chen, S., Zhang, R., Su, H., Tian, J., & Xia, J., 2009, Scalingup transformation of multisensor images with multiple resolutions. *Sensors*, 9, 1370-1381.

Ehlers, M., & Klonus, S., 2004, Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte. *Filterung.Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 6, 495-506.

Ehlers, M., Klonus, S., Astrand, P. J., & Rosso, P., 2010, Multi-sensor image fusion for pansharpening in remote sensing. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 25-45.

Erdas Imagine, 1986, Erdas imagine tour guide.

González-Audícana, M., Otazu, X., Fors, O., & Seco, A., 2005, Comparison between Mallat's and the 'à trous' discrete wavelet transform based algorithms for the fusion of multispectral and panchromatic images. *International*

Journal of Remote Sensing, 26(3), 595–614.

Gül, B., Yıldırım, Ç., Değer, A., Erdoğan, M., Ulubay, A., 2013, Görüntü Birleştirme Yöntemlerinin Spektral Değerleri ve Görüntü Kalitesini Koruma Açısından Karşılaştırılması: Worldview-2 Uygulaması, *Harita Dergisi*, Temmuz, 150, 8-17.

Hurd, J. D., & Civco, D. L., 2009, Creating an image dataset to meet your classification needs: a proof-of-concept study. Baltimore, Maryland: *ASPRS 2009 Annual Conference*, March 9–13, 2009.

Nikolakopoulos, G., 2004, Comparison of four different fusion techniques for IKONOS data. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing*, 4, 2534–2537.

Price, J. C., 1999, Combining multispectral data of differing spatial resolution. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(3), 1199–1203.

Siddiqui, Y., 2003, The modified IHS method for fusing satellite imagery. In *Proc. 2003 ASPRS Annual Convention*, 10, Anchorage, AK.

Vijayaraj, V., 2004, A quantitative analysis of pansharpened images. *Master Thesis*, Mississippi State University.

Vijayaraj, V., O'Hara, C. G., & Younan, N. H., 2004, Quality analysis of pansharpened images. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing*, 1, 85–88.

Vrabel, J., 1996, Multispectral imagery band sharpening study. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1075–1083.

Wald, L., 2000, Quality of high resolution synthesized images: is there a simple criterion? *International Conference on Fusion of Earth Data*, France, 99–105, Nice, France: SEE Gre'CA.

Wald, L., Ranchin, T., & Mangolini, M., 1997, Fusion of satellite images of different spatial resolution: assessing the quality of resulting images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 691–699.

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(3), 225–234.

Zhou, J., Civco, D., & Silander, J., 1998, A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *International Journal of Remote Sensing*, 19(4), 743–757.