

RASAT Uydu Görüntülerinin Optimal Pankeskinleştirilmesi

Optimal Pansharpening of RASAT Satellite Imagery

Mustafa Teke¹, Mehmet Saygın Seyfioğlu², Arda Ağçal², Sevgi Zübeyde Gürbüz^{1,2}

1. Görüntü İşleme Grubu, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
{mustafa.teke, sevgi.gurbuz}@tubitak.gov.tr

2. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
{mehmetsayginseyfioглу, arda.agcal}@gmail.com

Özetçe—Pankeskinleştirme düşük çözünürlüklü çok-tayflı uydu görüntülerinin uzamsal çözünürlüğünü artırmak amacıyla yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntüleri kullanan piksel-bazlı bir füzyon yöntemidir. Literatürde çok sayıda farklı pankeskinleştirme algoritması önerilmiştir. Bu çalışmada, uzamsal çözünürlüğü 7,5 m olan RASAT uydu görüntülerinin çözünürlüğünü artırmak için uygulanabilecek pankeskinleştirme algoritmalarının başarımı incelenmektedir. 6 farklı sayısal ölçütüne göre 9 farklı pankeskinleştirme algoritması 7 farklı RASAT görüntüsü üzerine uygulanıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yüksek geçiren süzgeç (High Pass Filter) yönteminin en keskin görüntü ürettiği ve hiperküre renk uzayı yönteminin ise en renk değerlerini üretirken keskinliği belirli ölçüde koruduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler — RASAT, pankeskinleştirme, HCS, HPF.

Abstract—Pansharpening is a pixel-level fusion technique for increasing the spatial resolution of low-resolution multi-spectral satellite imagery using high resolution panchromatic imagery. In this work, the performance of various pan sharpening algorithms in improving the 7.5 meter resolution of RASAT satellite imagery is compared. Nine different pansharpening algorithms are tested on seven different RASAT images and evaluated using six different metrics. Our results show that the High Pass Filter yields the sharpest pansharpened image, while the Hyperspherical Color Space method provides the truest colors while preserving sharpness to a certain extent.

Keywords — RASAT, pansharpening, HCS, HPF.

I. GİRİŞ

RASAT, tamamiyle Türkiye’de tasarlanan ilk uydudur. 2011 yılında hizmete giren RASAT uydusu çok-tayflı (multi-spektral: MS) bir optik uydusudur – hem kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) bantlarda görüntü sağlar hemde pankromatik görüntü çeker. Ancak pankromatik bant uzamsal çözünürlüğü 7,5 metre iken çok-tayflı bantların çözünürlüğü 15 metredir [1]. Haritacılık, çevre, şehircilik ve planlama konularında kullanımı öngörülen RASAT görüntülerinin uzamsal çözünürlüğünü artırmak için pankeskinleştirme yönteminin uygulanması istenmektedir.

Pankeskinleştirme düşük çözünürlüklü çok-tayflı uydu görüntülerinin uzamsal çözünürlüğünü artırmak amacıyla yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntüleri kullanan piksel-bazlı bir füzyon yöntemidir. Literatürde çok sayıda farklı pankeskinleştirme algoritması önerilmiştir ve kaynaştırılmış görüntünün kalitesini değerlendirmek için 30’den daha fazla başarı ölçütü geliştirilmiştir [2]. Genellikle pankeskinleştirilmiş görüntünün aşağı örneklenildiğinde uzamsal çözünürlüğünün asıl görüntünün çözünürlüğüne mümkün olduğunca yakın olması ve yüksek çözünürlüklü benzer bir sensör tarafından alınan bir görüntüye mümkün olduğunca benzemesi istenmektedir.

Ancak hem uzamsal açıdan hemde spektral açıdan pankeskinleştirme yöntemini optimize etmek oldukça zordur. Kaynaştırılmış görüntüde çeşitli hatalar gözlemlenebilir; örneğin, spektral bozulma, radyometrik bozulma, yapısal değişiklikler ve bilgi kaybı [3]. Hangi yöntemin daha çok tercih edileceği sonuçlar vereceği ise pankeskinleştirilmiş görüntülerin kullanılacağı uygulamaya ve dolayısıyla öncelikle olarak önemseneyeceği özelliklerine bağlıdır.

Bu çalışmada RASAT görüntülerinin en uygun pankeskinleştirilmesi için 9 farklı algoritma arasında hangi algoritmanın en iyi sonuçları vereceği araştırılmıştır. Algoritmaların başarımını değerlendirmek için 6 farklı sayısal başarı ölçütü de hesaplanmıştır. 7 farklı RASAT görüntüsü üzerine oluşturulan algoritmaların başarısı karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara dayanılarak RASAT uydu görüntüleri için en uygun yöntemler önerilmiştir.

Bildirinin 2. Bölümünde uygulanan pankeskinleştirme algoritmaları ve genel özellikleri özetlenmiştir. 3. Bölümde sonuçları değerlendirmek için hesaplanan sayısal ölçütler tarif edilmiştir. Sonra 4. Bölümde farklı RASAT görüntüleri üzerine elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntünün kalitesi her farklı algoritma için incelenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak RASAT görüntüleri için en uygun pankeskinleştirme yöntemi belirlenmiştir. Örnek pankeskinleştirme sonuçları Bölüm 5’te verilmektedir.

II. PANKESKİNLEŞTİRME ALGORİTMALARI

Pankeskinleştirme işleminde, düşük çözünürlüklü çok-tayflı bantlar ara değerlendirme yöntemleri ile (en yakın komşu, kübik aradeğerleme gibi) getirilir. Daha sonra seçilen veri kaynaştırma yöntemleri ile pankeskinleştirme gerçekleştirilir.

Bantların çakıştırılmasının yapıldığı ve aynı boyuta getirildiği zaman üst üste oturduğu varsayılmaktadır.

A. Temel Bileşen Analizi (Principle Component Analysis: PCA)

PCA dönüşümü ilintili (correlated) çok-tayflı (multi-spektral) bantları temel bileşenlere dönüştürür (Temel bileşenler bağımsızdır). İlk temel bileşen en yüksek varyans değerine sahip olduğundan Pan görüntüye benzerdir, bu yüzden ilk temel bileşen yerine pan görüntü geçirilir [4]. Daha sonra ters PCA dönüşümü yapıp pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir. Pankeskinleştirilmiş görüntü Pan görüntüye ait fazla bilgi taşıdığından uzamsal olarak iyi sonuç verir buna karşılık renk bilgisini koruyamaz.

B. Brovey'nin Yöntemi

Bu metotta her spektral bant Pan görüntü ile çarpılır ve çarpım sonuçları spektral bantların toplamına bölünür. Keskinliği ön plana çıkartan bir metottur.

C. Gramm-Schmitt Yöntemi

Bu metotta diğer metotlardan farklı olarak çoklu-tayflı görüntü üst örnekleme edilmez. İlk olarak MS görüntünün ağırlıklı ortalaması alınarak bir adet düşük çözünürlüklü Pan elde edilir. Sonrasında bu Pan görüntü ilk bant olarak alınır ve Gramm-Schmitt Dikgen algoritması ile tüm bantlar dik hale getirilir. İşlem tam olarak şöyledir:

Kırmızı bantı pan banda dik yapacak açı hesaplanıp kırmızı bant kaydırılır. İşlem aynı şekilde Mavi ve Yeşil bantlar için de devam eder. Yeşil bant Kırmızı ve Pan banda ortogonal olacak şekilde döndürülür. Mavi bant ise Pan, Yeşil ve Kırmızı bantlara dik olacak şekilde döndürülür. Bu sayede tüm bantlar ilintisizleştirilir (decorrelation) Daha sonra tüm bantlar yukarı örneklenerek pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

D. Yoğunluk Renk Doyumu (Intensity Hue Saturation)

İlk olarak çok-tayflı bantlar IHS renk uzayına dönüştürülür. Düşük çözünürlüklü yoğunluk bantı yüksek çözünürlüklü Pan bantı ile yer değiştirir ve sonuçta elde edilen görüntü tekrar RGB renk uzayına dönüştürülür. Sonuçta elde edilen görüntü kenar bilgisini iyi bir şekilde tutar. Buna karşılık görüntüde spektral bozulmalar oluşur.

E. Renk Doyum Değeri (Hue-Saturation Value)

IHS yöntemine benzerdir, IHS renk uzayı yine HSV renk uzayı kullanılır.

F. Dalgacık (Wavelet) Yöntemi

Bu metotta ilk olarak MS görüntüye ve Pan bandına ayrı ayrı Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform: DWT) uygulanır. Birçok dalgacık dönüşümü bulunmaktadır ancak bu çalışmada Haar dalgacık kullanılmaya tercih edildi. DWT işlemi sonrası Pan görüntüye ait düşük frekanslı kısım çıkartılıp yerine MS görüntüye ait düşük frekanslı kısım eklenir[5]. Daha sonra ters dalgacık dönüşümü ile pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir. Uzamsal olarak çok iyi sonuç vermemekle birlikte renk bilgisini en iyi koruyan metotlardan biridir.

G. Yüksek Geçiren Süzgeç: YGS (High Pass Filter)

YGS yönteminde, 5×5 , 7×7 veya 9×9 boyutlarında filtreler pan ve çok bantlı görüntülerin oranı göre seçilerek uygulanır. Filtrenin orta değeri hariç tüm değerler -1 , orta değer ise toplamı 0 yapacak şekilde seçilir. Örneğin 5×5 boyutunda filtrenin orta değeri 24 olarak alınır [6].

Bu filtre görüntüye uygulanarak yüksek geçiren değer elde edilir ve bu ara görüntü tüm bantlara uygulanarak çözünürlük artırılmış olur.

Pankromatik bant ile çok-tayflı bantların oranı r ise, filtre boyutu $(2r+1) \times (2r+1)$ olarak alınır.

H. Hiperküre Renk Uzayı (Hyperspherical Color Space)

Hiperküre renk uzayı, 8 bantlı WorldView-2 uydu görüntülerinin pankeskinleştirilmiş için geliştirilmiş bir yöntemdir [6]. Çok-tayflı bantlar pankromatik bandın bir hiperküre üzerine iz düşümleri olarak hesaplanır. Çok-tayflı bantlardan hesaplanan değer yerine pankromatik bant konularak ters izdüşüm uygulanır.

III. SAYISAL BAŞARI ÖLÇÜTLERİ

Yapılan çalışmalarda literatürde kullanılan metrikler testlerde kullanılmıştır. Bu metriklerden ilinti katsayısı (correlation coefficient) ve spektral bilgi ayrıklığı (spectral information divergence) tüm veri setleri için aynı değerlerde sonuçlar ürettiklerinden test tablolarından kaldırılmışlardır.

A. RMSE

Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error: RMSE): Çok-tayflı görüntü ve pankeskinleştirilmiş görüntü arasında ne kadar hata olduğunu gösterir. Pankeskinleştirilmiş görüntüdeki spektral ve uzaysal kaliteyi inceler. RMSE değerleri sıfıra ne kadar yakınsa aradaki hata o kadar az olur.

B. SAM

Tayfsal Açılı Haritalayıcı (Spectral Angle Mapper: SAM): çok-tayflı görüntü ve pankeskinleştirilmiş görüntünün her pikseli arasındaki spektral açıya bakar. Bu açı değerlerinin ortalaması sıfıra yakın olması idealdir.

C. RASE

Göreceli Ortalama Tayfsal Hata (Relative average spectral error: RASE): RMSE değerlerinin her bir spektral bant için ortalama başarı değerlerini ölçer. RASE değeri sıfıra ne kadar yakın olursa bantların kalitesi o kadar yüksek olur.

D. QAVE

Bu metrik spektral bozulmayı 3 faktöre göre inceler. Bu faktörler ilinti kaybı, parlaklık bozulması ve kontrast bozulmasıdır. Bu metrik sonucunun bire yakın olması idealdir.

E. ERGAS

Pankeskinleştirilmiş görüntüdeki uzaysaldan spektrale geçiş kalitesini ölçer. ERGAS değeri sıfıra ne kadar yakın olursa kalite o kadar yüksek olur.

F. Uzamsal

Bu metrik pan görüntüyle pankeskinleştirilmiş görüntünün her bir bandını yüksek geçiren filtreden geçirip uzaysal benzerliğini karşılaştırır. Bu metrik sonucunun bire yakın olması idealdir.

IV. OPTİMAL PANKESKİNLEŞTİRME SONUÇLARI

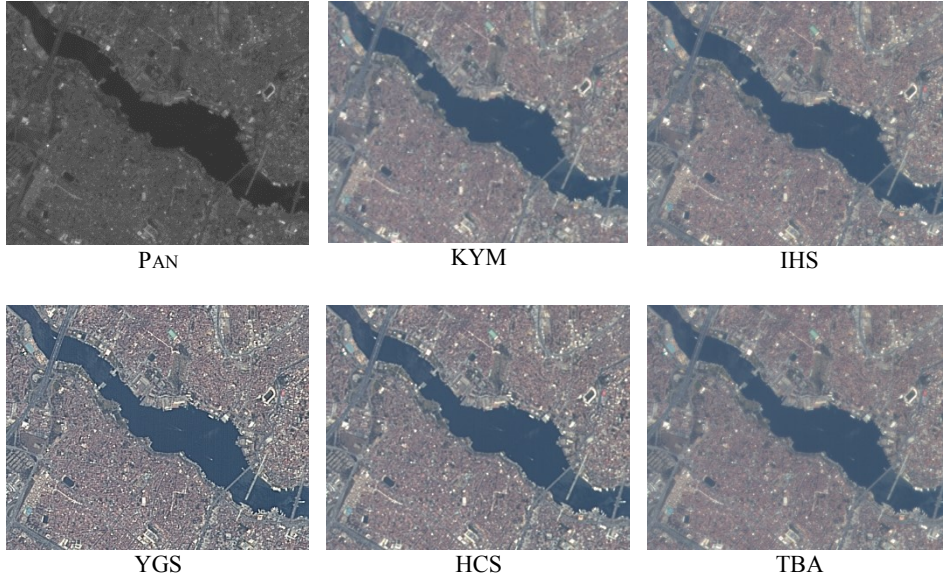
Sonuçlar içerisinde en dikkatimizi çeken IHS yönteminin tüm metriklerde en başarılı sonuçları üretmesine rağmen, görsel sonuçlarda aynı başarıyı sağlayamaması olmaktadır.

Ticari yazılımların özel algoritmaları metriklerde ve görsellerde yeterli performansı sağladıkları halde keskinlik olarak HCS algoritması daha üstün sonuçlara sahiptirler. Şekil 1 ile gösterilen sonuçlarda HCS yöntemi ve ticari yazılımların sonuçları çoklu-tayf aynı radyometrik değerlere sahip olmak ile birlikte keskinliklerini kaybetmemektedirler.

YGS (Yüksek Geçiren Süzgeç) yöntemi en keskin pankeskinleştirme sonucunu üretmektedir. Fakat renk değerlerini koruyamamaktadır (Şekil 2).



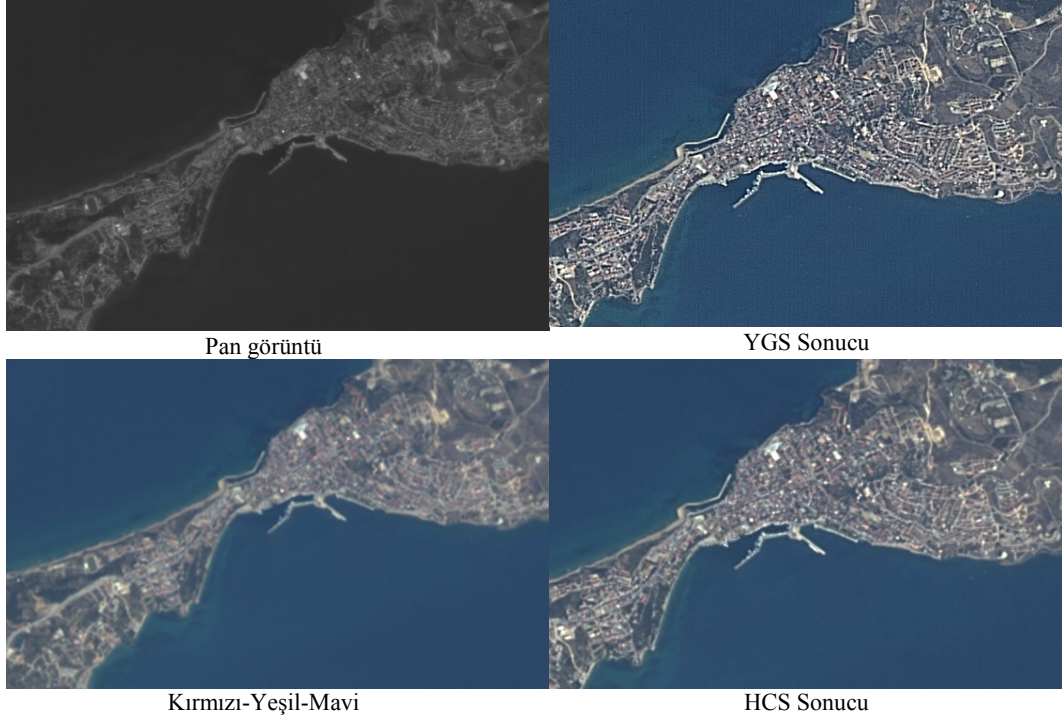
Şekil 1 Osmancık Görüntüsü HCS yönteminin en başarılı ticari sonuçlar ile görsel sonuçları



Şekil 2 Haliç bölgesi pankeskinleştirme görsel sonuçları

Tablo 1 Pankeskinleştirme yöntemleri için karşılaştırma metrikleri ortalama değerler

| | TBA | Brovey | Dalgacık | IHS | HCS | YGS | GS | ESRI | SPEAR |
|-------------|------|--------|----------|------|------|-------|------|------|-------|
| RMSE (0) | 5.67 | 87.06 | 2.63 | 3.87 | 4.96 | 17.38 | 2.24 | 3.76 | 4.91 |
| SAM (0) | 0.78 | 0.00 | 0.55 | 0.12 | 0.23 | 0.51 | 0.32 | 0.31 | 0.44 |
| RASE (0) | 4.97 | 81.06 | 2.42 | 3.43 | 4.69 | 15.94 | 2.13 | 2.96 | 3.86 |
| QAVE (1) | 0.94 | 0.17 | 0.95 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.96 | 0.93 |
| ERGAS (0) | 1.32 | 94.71 | 0.63 | 0.88 | 1.19 | 4.06 | 0.57 | 0.74 | 0.96 |
| Uzamsal (1) | 0.93 | 0.97 | 0.85 | 0.97 | 0.91 | 0.98 | 0.94 | 0.95 | 0.98 |



Şekil 3 Sinop görüntüsü için HCS ve YGS sonuçları

V. SONUÇLAR

Sonuçları metrikler ve göz ile incelediğimizde pankeskinleştirme işlemlerinin farklı amaçlar için değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

En doğru radyometrik doğruluğa sahip pankeskinleştirmeyi elde etmek için HCS yöntemin önerilmektedir. YGS yöntemi en keskin görüntüyü sağlamak ile birlikte, RASAT görüntülerinin beneklerinin radyometrik kalibrasyonu yapılmadığı için bantlanma YGS yöntemi tarafından yükseltilecek homojen bölgelerde görüntülerin görselliğini olumsuz etkilemektedir.

RASAT uydusu radyometrik kalibrasyonu yapıldığında haritacılık şehir planlama gibi uygulamalar için YGS yöntemi, daha yüksek doğruluğa sahip tarım ve çevre uygulamaları için HCS yöntemi tercih edilmelidir (Şekil 3).

En uygun yöntem pankromatik bantta bulunan keskinlik bilgisi ile çok-tayflı bantlarda bulunan radyometrik bilgiyi en uygun şekilde koruyan ve uydu sistemi üzerinde bulunan görüntüleme sistemi parametrelerini de dikkate alan bir yöntem geliştirilmesidir.

KAYNAKÇA

- [1] Ö. Kahraman, H. Özen, E. Demircioğlu, U. Sakarya, R. Küpçü, B. Avenoğlu, E. İmre, E. Bank, "Uzaktan algılamada RASAT: Türkiye'de üretilen ilk yer gözlem uydusu", IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), Zonguldak, 2012.
- [2] Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R., and Katsaggelos, A.K., "A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 79, 2011.
- [3] Ghosh, A., Joshi, P.K., "Assessment of pan-sharpened very high-resolution WorldView-2 images," *Int. Journal of Remote Sensing*, 34:23, 2013, sf. 8336-8359.
- [4] Palsson, F.; Sveinsson, J.R.; Benediktsson, J.A.; Aanaes, H., "Classification of Pansharpened Urban Satellite Images," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE Journal of , vol.5, no.1, pp.281,297, Feb. 2012
- [5] Strait, Melissa, Sheida Rahmani, and D. Merkurev. "Evaluation of pan-sharpening methods." UCLA Department of Mathematics (2008).
- [6] Schowengerdt, Robert A. "Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 46 (1980): 1325-1334.
- [7] Padwick, Chris, et al. "WorldView-2 pan-sharpening." *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. 2010.