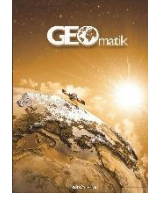




GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi

Ahmet Ünal^{*1}, Ferruh Yıldız¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Çözünürlük
Göktürk-1
Görüntü Birleştirme
Pankeskinleştirme
Uydu Görüntüsü

ÖZ

Ülkemizin ilk yüksek çözünürlüklü uydusu olan Göktürk-1 uydusundan alınan görüntülerinde kullanım alanlarına göre çok büyük faydalar sağlayacağı tartışılmazdır. Bu çalışmada farklı pankeskinleştirme yöntemleri karşılaştırılmış, seçilmiş bir örnek Göktürk-1 uydu görüntüsü 4 farklı programda yer alan toplam 23 algoritmda pankeskinleştirilmiş, elde edilen görüntülerin görsel olarak ve matematiksel ölçütlerle analizi yapılmış ve Göktürk-1 uydu görüntüleri için en uygun pankeskinleştirme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda elde edilen bulgular görsel ve metrik olarak değerlendirilmiş, aynı algoritmaların farklı yazılımlarda farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen görsel değerlendirmeler ışığında Göktürk-1 uydu görüntülerini pankeskinleştirmek için; ERDAS yazılımında ERDAS Resolution Merge, Subtractive Resolution Merge ya da HCS Resolution Merge algoritmalarının, ENVI yazılımında NNDiffuse Pan Sharpening algoritmasının, HASAT yazılımında Brovey algoritmasının ve PCI yazılımında PANSHARP2 algoritmasının görsel olarak daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Pankeskinleştirme işlemleri sonucunda elde edilen görüntüler bu tarz çalışmalarda yaygın olarak kullanılan RMSE, RASE, CC, ERGAS ve QAVE metriklerine göre değerlendirilmiştir. Metrik değerlendirmeler için MATLAB programı kullanılmış ve ERGAS metriğinde “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” yöntemi, RMSE, CC, RASE ve QAVE metriklerinde ise “PCI-MRA” yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Investigation of Pansharpening Performance on Göktürk-1 Satellite Images

Keywords

Resolution
Göktürk-1
Image Fusion
Pansharpening
Satellite Image

ABSTRACT

It is obvious that the images taken from Göktürk-1 satellite, which is the first high resolution satellite of our country, will provide great benefits in different areas according to its usage areas. In this study, different pansharpening methods are compared, a selected sample Göktürk-1 satellite image has been pansharpened with 23 algorithms in 4 different softwares, the images obtained are analyzed visually and mathematically and thus the most appropriate pansharpening method is tried to be determined for Göktürk-1 satellite images. Findings obtained in this context were evaluated visually and metrically, and it was observed that the same algorithms gave different results in different software. In the light of the visual evaluations obtained, in order to sharpen Göktürk-1 satellite images; It has been observed that using ERDAS Resolution Merge, Subtractive Resolution Merge or HCS Resolution Merge algorithms in ERDAS software, NNDiffuse Pan Sharpening algorithm in ENVI software, Brovey algorithm in HASAT software and PANSHARP2 algorithm in PCI software is better result visually. The images obtained as a result of the pansharpening processes have been evaluated according to the RMSE, RASE, CC, ERGAS and QAVE metrics commonly used in such studies. The MATLAB program has been used for metric evaluations and the “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” method in the ERGAS metric and the “PCI-MRA” method in the RMSE, CC, RASE and QAVE metrics have been gave more successful results.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

(unalahmet@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7519-5389
(fyildiz@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-1248-8923

Ünal, A. & Yıldız, F. (2021). Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi. Geomatik, 6(2), 148-164, DOI: 10.29128/geomatik.731816

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın istenilen zamanda ve herhangi bir engele maruz kalmaksızın askeri istihbarat isteklerini karşılayabilecek şekilde yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesine imkân tanyacak, aynı zamanda kamu ve özel sektör tarafından ormanlık alanların kontrolü, imara aykırı yapılaşmanın takibi, doğal afetlerden sonra ihtiyaç duyulan hasar tespiti, ürün rekolte tespiti ve coğrafi harita verilerinin üretilmesi gibi faaliyet alanlarında da görüntü ihtiyacını karşılayacak bir uydu sisteminin tedarik edilmesi ihtiyacı Göktürk-1 uydu projesini ortaya çıkarmıştır.

Uydu görüntüleri kullanıcılara sunulmadan önce birçok görüntü işleme sürecinden geçirilmektedir. Yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile multispektral (çok bantlı) görüntünün birleştirilmesi işlemi yani Pankeskinleştirme işlemi bu görüntü işleme adımlarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Artan teknolojiye paralel olarak uydu teknolojisi de ilerlemiş buna bağlı olarak farklı yörüngelerde bulunan ve birbirinden değişik özelliklere sahip birçok uydu sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerin ortak amacı yeryüzüne ait verilerin toplanması, işlenmesi ve çeşitli amaçlarla kullanılabilmesinin sağlanmasıdır. Kısaca coğrafi verilerin elde edilmesi uzaktan algılama bilimi içerisinde farklı algılayıcı ve sistemlerle sağlanmaktadır.

Pankeskinleştirme konusunda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Genelde aynı ya da farklı uydu görüntülerinin birleştirilmesi suretiyle bir bölgeye ait detay bilgisini ön plana çıkararak görüntü yorumlama amaçlı çalışmalar yoğunluk kazanmaktadır (Abdikan, 2017).

En çok karşımıza çıkan çalışma ise; aynı uyduya ait PAN (Pankromatik) ve MS (Multi Spektral) görüntülerin birleştirilmesi suretiyle çözünürlüğü yüksek MS görüntü elde etme amacı güden çalışmalardır (Özendi ve ark., 2015).

Worldview-3 ve QuickBird uydu görüntüleri için en verimli sonuçların Gram-Schmidt ve UNB (Universty of New Brunswick - New Brunswick Üniversitesi) algoritmalarının uygulanması ile alındığı ancak metrik yöntemlerin, şehir, kırsal alan, dağlık veya ormanlık alanlara göre seçilen pankeskinleştirme metodunun farklı sonuçlar verebildiği ortaya konulmuştur (Snehmani ve ark., 2014).

Farklı SAR (Sentetik Açıklı Radar) görüntüleri ile SPOT-2 elektro optik uydu görüntüsü IHS (Intensty Hue Saturation - Yoğunluk Renk Doygunluk), Ehlers ve Brovey yöntemleriyle birleştirilmiş ve Ehlers yönteminin spektral açıdan da metrik açıdan da diğerlerinden iyi olduğu tespit edilmiştir (Abdikan, 2014).

RASAT görüntülerinden yapılan pankeskinleştirme çalışmasında en uygun sonuçların HCS (Hyperspherical Color Space - Hiperküre Renk Uzayı) ve Opt.HPF (Optimized High

Pass Filter - Optimize Edilmiş Yüksek Geçirgen Filtre) yöntemleri ile alındığını gözlemlenmiştir (Açıkgöz, 2015).

Görüntü füzyon yöntemleri QuickBird uydu görüntüleri üzerinde ve matematiksel sonuçları ise MATLAB programı kullanılarak ortaya konulmuş, optimizasyon algoritması olan parçacık sürü optimizasyonunun pankeskinleştirme teknikleri için iyi bir sonuç ortaya koyduğu ve istatistiksel olarak da iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Abas, 2015).

Pleiades 1-A görüntülerinin pankeskinleştirme performansı incelemiş, nicelik olarak Brovey, nitelik olarak IHS algoritmaları ile yapılan görüntülerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Özendi, 2014).

IKONOS, Geoeye ve Worldview uydu görüntüleri MS ve Pankromatik görüntülerin füzyonunu esas alan pankeskinleştirme yöntemleri incelenmiş, kullanılan algoritmalar içerisinde SFIM (Smoothing Filter Intensity Modulation - Pürüzsüzleştirici Filtre Yoğunluğu Modülasyonu) metodunun özgün çakıştırma stratejisi ile iyileştirilerek birleştirilmiştir (Sümengen, 2012).

Başka bir çalışmada RASAT uydusuna ait Mersin, İstanbul ve Sinop görüntüleri 17 farklı algoritma ile pankeskinleştirilmiş matematiksel olarak RMSE (Root Mean Square Error), CC (Correlation Coefficient), SAM (Spectral Angular Mapper), ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), PSNR (Peak Signal to Noise Ratio - En Yüksek Sinyal Hata Oranı), SSIM (Structural Smilarity Index - Yapısal Benzerlik Analizi) ve UIQI (Universal Image Quality Index - Evrensel Görüntü Kalite İndeksi) yöntemleri ile sonuçlar kıyaslanmış ve MTF (Modulation Transfer Function - Modülasyon Transfer Fonksiyonu) - GLP (Generalised Laplacian Pyramid - Genelleştirilmiş Laplacian Piramidi) - HPM (High Pass Modulation-Yüksek Geçiren Modülasyon) yöntemi ile yapılan görüntünün tüm metriklerde en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir (Kahraman, 2017).

Pleiades 1-A Zonguldak test alanı görüntüsü üzerinde PCA (Principal Component Analysis), IHS ve Brovey algoritmaları ile pankeskinleştirme işlemi yapılmış ormanlık, şehir ve düz alanlarda ayrı ayrı karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar CC, ERGAS, RASE (Relative Average Spectral Error), SAM ve RMSE matematiksel ölçütleri ile incelenmiştir. Brovey yöntemi CC, ERGAS ve SAM metriklerinde en iyi sonucu vermiş, IHS yöntemi RMSE ve RASE metriklerinde başarılı olmuştur. Ayrıca düz ve kentsel alanlarda görsel olarak en doğal sonucu IHS yöntemi ile yapılan görüntüler verirken ormanlık alanda Brovey yöntemi ile yapılan görüntünün en doğal sonucu verdiği gözlenmiştir (Topan, 2016).

QuickBird ve Worldview-3 görüntülerinin pankeskinleştirme performansları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, QuickBird uydularında en iyi sonucun Gram - Schmidt ve UNB olduğu ortaya konulmuştur (Gore, 2016).

London Tower köprüsüne ait WorldView-2 görüntüsü Gram - Schmidt yöntemi ile

pankeskinleştirilmiş ve sonucunda görüntünün belli bir bölgesinin hızlı pankeskinleştirmeye ihtiyaç duyulabileceği çalışmalarda başarılı sonuçlar vereceği değerlendirilmiştir (Maurer, 2013).

İstanbul, Trabzon ve Osmancık (Çorum) bölgelerine ait RASAT uydu görüntüsü ile yapılmış pankeskinleştirme performans analizlerinde, RASAT uydu görüntüleri kullanılarak yapılacak pankeskinleştirmede yöntem olarak haritacılık şehir planlama gibi uygulamalar için HPF (High Pass Filter – Yüksek Geçirgen Filtre) yönteminin, daha yüksek doğruluğa sahip tarım ve çevre uygulamaları için ise HCS (Hyperspherical Color Space – Hiperküre Renk Uzayı) yönteminin tercih edilmesinin gerektiği ortaya konulmuştur (Teke, 2014).

Benzer şekilde WorldView-3 uydu görüntüsüne ait Almanya'daki yeşil alan ve Libra şehir alanlarında IHS ve Brovey algoritmaları ile bir analiz yapılmıştır (Parente, 2017). DubaiSat-1 Dubai görüntüsünde 9 ayrı pankeskinleştirme algoritması ile gerçekleştirilen pankeskinleştirme sonuçları görsel olarak incelenmiş ve 4 farklı matematiksel ölçüt ile değerlendirme yapılmıştır (Basaeed, 2013). Wavelet dönüşümü ile Landsat-7 uydusuna ait görüntünün farklı bant varyasyonları ile analizleri yapılmış (Czaja, 2014), QuickBird uydu görüntüsünün çeşitli bant varyasyonları 10 farklı algoritma ile performans analizi yapılmıştır. (Despini, 2014)

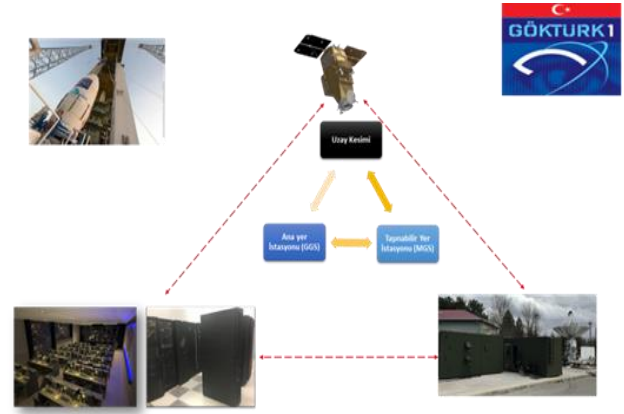
PC (Principle Component), IHS, Gram - Schmidt, Ehlers ve Yun Zhang yöntemleri ile farklı görüntüler pankeskinleştirilmiş ve görüntüler nesne yönelimli sınıflandırma açısından ayrıca irdelenmiş, Landsat-8, Kompsat-3 ve WorldView-2 görüntülerinin keskinleştirilmesi sonucunda Ehlers dışındaki tüm yöntemlerin yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir (Özdemir, 2017).

Bu çalışmada örnek bir Göktürk-1 uydu görüntüsü üçü ticari, birisi ise yerli ve milli olmak üzere toplamda 4 yazılım üzerinde 23 farklı yöntem ile pankeskinleştirilmiş ve elde edilen görüntüler görsel ve matematiksel olarak kıyaslanmıştır.

1.1. Çalışma Alanı ve Veriler

GÖKTÜRK-1 Uydu Projesi sözleşmesi, bugünkü adıyla Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı ile İtalyan Telespazio S.p.A. firması arasında 2009 yılı Temmuz ayında imzalanmıştır. Sözleşme kapsamında GÖKTÜRK-1 Uydusunun bazı uçuş bileşenlerinin TUSAŞ tarafından üretilmesi planlanmıştır. Uydu, Avrupa Uzay Ajansına ait VEGA roketi ile 05 Aralık 2016 tarihinde Fransız Guyanası'ndan Türkiye saati ile 16:51.44'de fırlatılmış ve yörüngeye başarıyla yerleştirilmiştir. Göktürk-1 sisteminin şartlı nihai kabulü 4 Aralık 2018 tarihinde gerçekleştirilmiş ve resmi olarak tamamen Hv.K.K.lığının kontrolüne geçmiştir. Proje çerçevesinde bir adet 0,5 m çözünürlüklü Elektro-Optik Uydu, bir adet Ana Yer İstasyonu ve bir adet Mobil Yer İstasyonu temin edilmiştir.

Göktürk-1 Uydusuna ait ana istasyon ile mobil istasyon Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Göktürk-1 Yer İstasyonu

Göktürk-1 uydusu nokta, şerit, geniş alan ve stereo görüntüleme modlarında çekim işlemi gerçekleştirebilmektedir. Nokta (spot) görüntüleme işleminde görüntünün genişliği ve uzunluğu 15km*15 km, şerit görüntülemeye ise görüntünün genişliği ve uzunluğu en fazla 15km*780 km'dir. Göktürk-1 uydusu yörünge istikametine ek olarak doğu - batı ve kuzey - güney istikametine çekim yapabilme kabiliyetine ve mevcut yer istasyonları ile günlük en fazla 902 spot görüntü indirme ve işleme kapasitesine sahiptir. Göktürk-1 uydusunun dünya etrafındaki bir turu yaklaşık 98 dakikadır. Aynı noktanın tekrar çekimi için ihtiyaç duyulan zaman ise 2 ila 3 gün arasındadır. Göktürk-1 uydusu biri PAN (siyah-beyaz) ve dördü MS (Multi - Spektral: Red - Green - Blue - Near IR) olmak üzere toplam beş adet bantta görüntüleme yapabilmektedir. Siyah - Beyaz bantın çözünürlüğü 0.50 m iken multispektral bantların çözünürlüğü 2.0 m'dir (Gürçay, 2019).

Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde Göktürk-1 ve Göktürk-2 olmak üzere iki adet uydu vardır. İkisi de keşif gözetleme uydusudur. Bu uydular arasındaki fark, PAN bantta Göktürk-1 0,5 m yer örnekleme aralığına (GSD - Ground Sampling Distance) sahipken Göktürk-2 ise 2,5 m GSD'ye sahiptir. İlerleyen dönemlerde SAR (Sentetik Açıklı Radar) uydularının da envantere girmesi beklenilmektedir.

Göktürk-1 Uydusunun teknik özellikleri Tablo1'de sunulmuştur.

Göktürk-1 uydu ömrü boyunca görüntülerinin yatay konumsal doğruluk değerinin 10 m (GCP'siz) ve düşey konumsal doğruluk değerinin de 20 m (GCP'siz) olması beklenmektedir. Tek bir GCP ile söz konusu doğruluk değeri ise 2 m.den daha iyi olacaktır (Gültekin,2019).

Tablo 1.Göktürk-1 Uydu Teknik Özellikleri

Özellikler	Göktürk-1
Yörünge Tipi	Güneş Eşzamanlı
Yörünge İrtifası	681 km
Eğim Açısı	98,11°
Yörünge Hızı	7,51 km/sn.
Periyot	98 dk 11 sn.
Spot Boyutu	15 X 15 km
Şerit Genişliği	15 km
Şerit Uzunluğu	780 km (tek gecişte) 14.300 km (azami çekim kabiliyeti)
Uydu Kütlesi	1061 kg (yakıt dâhil)
GSD (Ground Sampling Distance)	0,5 m PAN – 2 m RGB
Görüntü Kalitesi (NIIRS-NATO Image Interpretability)	NIIRS 5 (PAN)
Radyometrik Çözünürlük	12-Bit
Konumsal Doğruluk	Ortalama Yatay olarak 10 m (GCP'siz), 2 m (GCP'li) ** Düşey olarak 20 m (GCP'siz), 3 m (GCP'li)
Uydu (On-Board) Depolama	192 Gbyte
Yer İstasyonu (Ground Station) Denolama	6 PByte
Spektral Bantlar	PAN, RGB, NIR
Günlük Yörünge Sayısı	14-15 (14,7)
Ana/Yedek İstasyon	Ana İstasyon GGS (Ahlatlıbel) Yedek İstasyon MGS (Ahlatlıbel)
Anten Takip Açısı	GGS 5° MGS 10°
LTAN	10:30
Haberleşme Bantları / Hızları	X-Band / 620 Mbps S-Band / 1,6 Mbps
İletişim Konisi	4600 km
İletişim Konisinden	4-5
Görüntüleme Sıklığı	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ yönelme) 11 gün ($\pm 5^\circ$ yönelme açısıyla)
Tasarım Uydu	7 yıl 3 ay
Yükleniciler	Telespazio S.p.A./ İtalya
Fırlatma Tarihi	05.Ara.16
Fırlatma Yeri	Fransız Guyanası-Kourou

Gürçay (2019) yapmış olduğu çalışmada GÖKTÜRK-1 Uydu Radyometrik ve Geometrik Kalibrasyon Faaliyetlerini anlatmıştır ayrıca Gültekin (2019) Uydu Görüntülerinde Geometrik

Doğruluk: Test Yöntemleri ve Göktürk-1 Performans Değerlendirmesi konulu makalesinde Göktürk-1 uydusuna ait geometric doğrulukları incelemiştir. Bu kapsamda Göktürk-1 uydu görüntülerine yönelik temel ve ileri seviye işlemleri tanımlayan (Seviye 0 - Seviye 6) 7 adet görüntü seviyesi mevcuttur. Göktürk-1 uydu görüntü seviyeleri;

- Seviye 0(L0): İşlenmemiş görüntü (Ham Görüntü).

- Seviye 1(L1): Radyometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü (detektör hataları, gürültü ve bulanıklık giderme işlemi yapılmış görüntü).

- Seviye 2A(L2A): Geometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü (dünyanın eğikliğinden ve yöneliminden kaynaklı hataların giderilmesi ile oluşturulan görüntü).

- Seviye 2B(L2B): L2A seviye görüntüyü Georektifiye ederek elde edilmiş görüntü.

- Seviye 3A(L3A): Ortofoto yapılan görüntü.

- Seviye 3B(L3B): YKN kullanılarak Ortofoto yapılan görüntü.

- Seviye 4(L4): Stereo görüntü çiftlerinden oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli.

- Seviye 5(L5): Mozaikleme işlemi uygulanarak elde edilen görüntü.

- Seviye 6(L6): Sınıflandırılmış görüntü.

Görüntü seviyeleri incelendiğinde bunlardan L0, L1 ve L2 seviye görüntüler temel seviye görüntüler olarak adlandırılmakta, L3, L4, L5 ve L6 seviye görüntüler ise ileri seviye görüntüleri oluşturmaktadır.

Bu çalışmada Spot olarak 03 Ekim 2018 tarihinde çekilmiş bir Göktürk-1 Ankara uydu görüntüsü üçü ticari, birisi ise yerli ve milli olmak üzere toplamda 4 yazılım üzerinde 23 farklı Pankeskinleştirme metodu ile Pankeskinleştirilmiş ve elde edilen görüntüler görsel ve matematiksel olarak kıyaslanmıştır. Bu çalışmadaki gaye Göktürk-1 uydu görüntüleri için literatürde yer alan ve geçerliliği kabul görmüş yaygın pankeskinleştirme algoritmaları içerisinde hangisinin Göktürk-1 uydu görüntüleri için daha iyi sonuç vereceğinin ortaya koyulmasıdır.

Uygulamada kullanılan uydu görüntüsü 03 Ekim 2018 tarihinde saat 07:40'da 21.72 derecelik açı ile Göktürk-1 uydusu ile çekilmiş olan Ankara bölgesine (Şekil 1) ait 15km*15km'lik spot bir görüntüdür. Görüntü 7 Ocak 2019 tarihinde temel seviyede (Level 0'dan Level 2'ye) işlenmiştir.

Pankeskinleştirme işlemi kullanılan 15 km*15 km'lik görüntünün tamamına uygulanmıştır. Dolayısı ile bu kadar büyük boyutlu verilerle işlem yapıldığından analizler hem zaman almış hem de programlar işlemleri tamamlamada zorlanmıştır. Görüntü seçimi yapılırken kasıtlı olarak eğik alım açılı görüntü seçilmiş ve işlemlerde karşılaşılabilecek zorluklar test edilmek istenmiştir. Tüm işlemlerde görüntünün tamamı kullanıldığı için hem verileri depolamada hem de kıyaslama işlemlerinde oldukça zorluklarla karşılaşmıştır.

Çalışma alanınının 15km*15km'lik tüm kısmını da içeren genel görsel Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Çalışma Alanı

2. METHOD

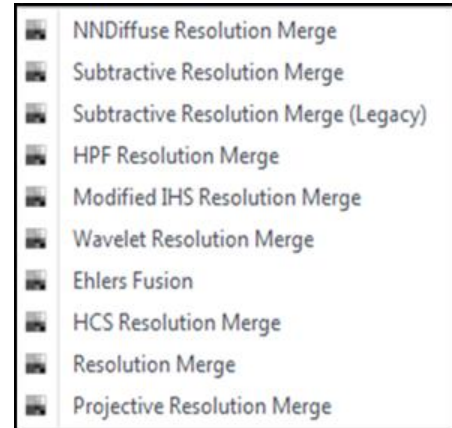
Günümüzde ticari olarak üretilen Coğrafi Bilgi Sistemi ya da görüntü işleme yazılımlarının hepsinde çeşitli pankeskinleştirme algoritmaları vardır. Bunlardan bazıları tek bir algoritma olabileceği gibi bazılarında birden çok dönüşüm algoritmasının programa kombine şekilde tanıtılması suretiyle daha iyi sonuçlar vermesi sağlanmıştır. Örneğin New Brunswick Üniversitesi, Jeodezi ve Geomatik Mühendisliği Bölümü (University of New Brunswick - UNB), Kanada'da Prof.Dr. Yun Zhang tarafından yapılan birçok çalışma ile UNB algoritması geliştirilmiş PCI programına tanıtılmıştır. Ayrıca çeşitli uydu görüntüleri için programın yardım kısmına band kombinasyonları ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan PCI 2018 (Şekil 3), ENVI 5.5 (Şekil 4) ve ERDAS Imagine 2018 (Şekil 5) yazılımlarında çok sayıda pankeskinleştirme algoritması mevcuttur. Bu algoritmalar tek bir algoritma olabileceği gibi bazı uydu görüntülerinin bazı programların farklı algoritmalarında değişik sonuçlar verdiği literatürde yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur (Gore, 2016).



Şekil 3.PCI yazılımı pankeskinleştirme sekmeleri



Şekil 4.ENVI yazılımı pankeskinleştirme sekmeleri



Şekil 5.ERDAS yazılımı pankeskinleştirme sekmeleri

Yukarıda sözünü ettiğimiz ticari firmalarda kendi yaptıkları çalışmalar sonucunda hangi amaçla yapılan pankeskinleştirme işleminde hangi algoritmalarını kullanmanız gerektiği ile ilgili yardım menülerinde ipuçları vermekle birlikte kendi yaptıkları algoritmaların hangi uydu görüntülerinde (Pleiades, Worldview, Quickbird vs.) ya da hangi alanda (kırsal, şehir içi, ormanlık vs.) başarılı olabileceği konularında fikir vermeye çalışmışlardır. Örneğin "İkonos uydu görüntülerinin pankeskinleştirme işlemi sonucunda yapılan değerlendirmelerinde, spektral açıdan en iyi

sonuçların ise Modified IHS dönüşüm yönteminden elde edildiği” ortaya konulmuştur (Ayhan, 2017).

Hâlihazırda kullanılan yazılımlardan PCI ve ERDAS yazılımları Göktürk-1 uydu görüntülerini sistemlerine tanıtmışlar, ENVI ve ESRI tarafından da tanıtmış işlemleri devam etmektedir.

Bu ticari algoritmaların dışında uydu, keşif uçakları ve insansız hava araçlarından elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin işlenmesi ve analiz edilmesi, detayların otomatik olarak tespit edilmesi, hareketli ve hareketsiz nesnelerin görüntülenmesi ve tüm bu çalışmaların Hava Kuvvetleri Bilgi Sistemleri ile entegreli ve otomatik olarak gerçekleştirilmesi amaçlanarak ARGE Projesi olarak Görüntü Analizi ve Otomatik Hedef Algılama amacı başlatılan, yerli ve milli bir yazılım olarak geliştirilen HASAT yazılımı da içerisinde 3 adet pankeskinleştirme algoritması barındırmaktadır. Ticari yazılımların yanında HASAT yazılımı da kullanılarak değerlendirmelere dâhil edilmiştir.

2.1. Pankeskinleştirme Yöntemleri

Çalışma kapsamında HASAT, ENVI, ERDAS IMAGINE ve PCI 2018 yazılımlarının içerisinde bulunan pankeskinleştirme metodları kullanılmış, hepsinden elde edilen sonuçlar görsel ve metrik olarak analiz edilmiştir. Ancak çalışmada ENVI programı CN Spectral Sharpening metodu ile ERDAS programı Ehlers Fusion metodlarından anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Çalışma kapsamında yapılan araştırmada CN Spectral Sharpening metodunun görüntüye bağlı olarak çalışmadığı sonucuna ulaşılmıştır. ERDAS programı Ehlers yönteminde ise donanımına bağlı performans yetersizlikleri nedeni ile sonuca ulaşamadığı değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma daha önce de vurguladığı üzere görüntünün bir bölümünde değil tamamı üzerinde sürdürülmüş, sonuçları küçük kesitler üzerinde gösterilmeye çalışılmıştır. Kullanılan programların menülerine eklenen yaygın pankeskinleştirme metodları aşağıda kısaca anlatılmıştır.

2.1.1. Brovey yöntemi

Dönüşüm, renklilik dönüşümünü esas alan bir yöntem olup MS görüntünün parlaklık bilgisinin PAN görüntü ile modüle edilerek MS görüntüye uygulanmasını esas alan bir yöntemdir.

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

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

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

R: Red (Kırmızı), G: Green (Yeşil), B: Blue (Mavi), PAN: Pankromatik olarak tanımlanır.

$$l_i = \frac{PXN}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad (4)$$

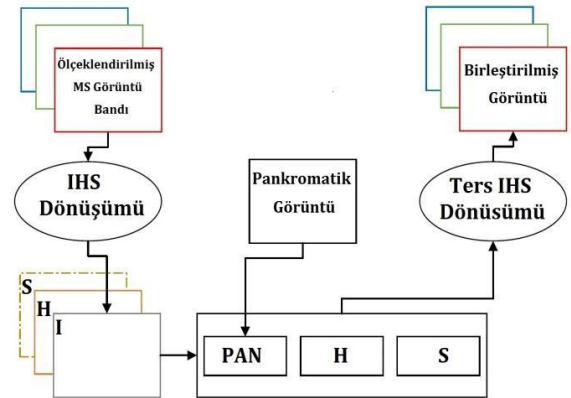
$$l = \sum_{i=1}^N l_i \quad (5)$$

N bant sayısını, l_i MS görüntünün i. bandına karşılık gelen yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüklü görüntüsünü, M_i ise pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmiş MS görüntünün i. bandını ifade etmektedir.

2.1.2. IHS (Intensity-Hue-Saturation) yöntemi

Bu yöntemde öncelikle renkli bantlar IHS renk uzayına dönüştürülür. Çözünürlüğü düşük yoğunluk bandı ile çözünürlüğü yüksek PAN bandı yer değiştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen görüntü yeniden RGB renk uzayına dönüştürülür. Bu görüntü kenar bilgisini oldukça yeterli bir biçimde korur. Dolayısı ile görüntüde spektral bozulmalar oluşmaktadır (Teke, 2014).

MS görüntünün her bir bandı ölçeklendirilmiş pankromatik görüntü ile toplanır, daha sonra bu toplam değerden yoğunluk değeri çıkartılarak birleştirilmiş görüntüde karşılık gelen bandı hesaplanır. IHS yöntemi Şekil 6 ile gösterilmiştir.

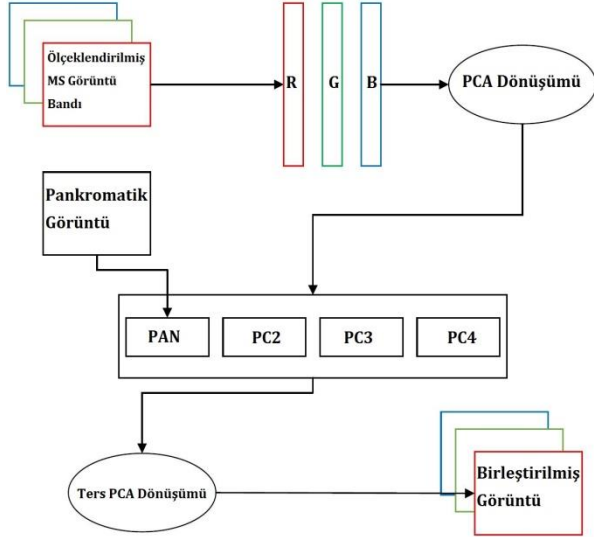


Şekil 6. IHS yöntemi diyagramı

2.1.3. PCA (Principle Component Analysis) yöntemi

Temel bileşen analizi dönüşümü yöntemi, ilintili multispektral bantları temel bileşenlere ayırır (Her bir temel bileşen bağımsızdır). Diğer bileşenlere göre daha yüksek varyans değerine sahip olması sebebi ile ilk bileşen PAN görüntüye benzemektedir, bu sebeple PAN görüntü ilk temel bileşen yerine geçirilir. Sonra ters temel bileşen analizi (PCA) dönüşümü yapılarak pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir. Elde edilen görüntü PAN görüntüye ait daha yoğun bilgi taşıdığından matematiksel olarak iyi sonuç verir ancak renk bilgisini yeterince koruyamaz.

MS görüntülerinin pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmesi sonrasında elde edilen ölçeklendirilmiş görüntülerin temel bileşenlerine ayrılması işlemi gerçekleştirilir. PAN görüntünün birinci temel bileşene göre normalleştirilmesinden sonra birinci temel bileşen yerine normalleştirilmiş pankromatik görüntünün kullanılması işlemi ve ters temel bileşenler analizi uygulanarak füzyonun gerçekleştirilmesi sağlanır. Dönüşüm işlemi Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. PCA yöntemi diyagramı

2.1.4. HCS (Hyperspherical Color Space) yöntemi

RGB renk uzayından hiperküre renk uzayına dönüşüm; n-boyutlu kartezyen uzayından n-boyutlu hiperküre uzayına dönüştürülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. N adet bant barındıran MS görüntü için HCS dönüşümü aşağıdaki denklemler sonucunda elde edilir. İlk bileşen yoğunluk değerini temsil etmektedir ve HCS üzerinde N-1 adet açı hesaplanır.

$$l = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_N^2} \quad (6)$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{M_N^2 + M_{N-1}^2 + \dots + M_2^2}}{M_1} \right) \quad (7)$$

$$\varphi_{N-2} = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{M_N^2 + M_{N-1}^2}}{M_{N-2}} \right) \quad (8)$$

$$\varphi_{N-1} = \tan^{-1} \left(\frac{M_N}{M_{N-1}} \right) \quad (9)$$

M_i RGB renk uzayındaki i. bileşeni temsil etmektedir. Geri dönüşüm ise aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

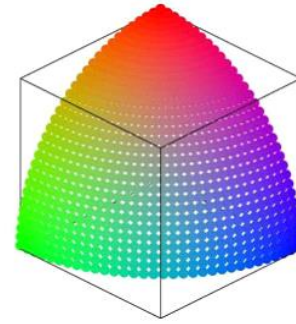
$$M_1 = l \cos \varphi_1 \quad (10)$$

$$M_2 = l \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \quad (11)$$

$$M_{N-1} = l \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \dots \sin \varphi_{N-2} \cos \varphi_{N-1} \quad (12)$$

$$M_N = l \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \dots \sin \varphi_{N-2} \sin \varphi_{N-1} \quad (13)$$

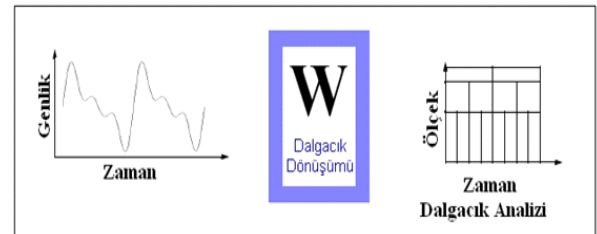
Hiperküre renk uzayına dönüşümde φ_i açıları ton ve renk değerlerini ifade etmektedir. l renk yoğunluğu bileşeni ise kürenin yarıçapını ifade etmektedir. HCS ortamına görüntü aktarıldıktan sonra renk değeri değişmeden yoğunluk ölçeklendirilebilmektedir. HCS ortamına dönüşüm herhangi bir doğal renk uzayından yapılabilmektedir. Şekil 8’de HCS renk uzayı küresel düzlemde gösterilmiştir.



Şekil 8. HCS renk uzayı

2.1.5. Wavelet dönüşüm yöntemi

Bu yöntemde MS ve PAN görüntülere Ayrık Dalgacık Dönüşümü uygulanmak suretiyle işleme başlanır. Bu dönüşümün temel mantığı Discrete Wavelet Transform yani Ayrık Dalgacık Dönüşümünün uygulanmasıdır. Bu işlem yapıldıktan sonra PAN görüntüde bulunan düşük frekanslı kısım çıkarılarak yerine MS görüntüde bulunan yüksek frekanslı kısım eklenir. Sonrasında ters dalgacık dönüşümü uygulanarak pankeskinleşmiş görüntü elde edilir. Bu dönüşüm uzamsal olarak iyi sonuçlar vermemesine rağmen renk bilgisini korumakta oldukça iyidir (Teke, 2014).



Şekil 9. Dalgacık dönüşümü

Wavelet Transform literatürde Multi Resolution Area (MRA) adı altında da incelenmektedir. Çoklu çözünürlük alanı olarak dilimize geçmiş olan bu yöntemde çözünürlüğü yüksek olan PAN görüntü düşük çözünürlüklü dalgacık katsayılarına dönüştürülür. Sonra MS görüntüde de aynı işlem uygulanarak dalgacık dönüşümü yapılır. MS görüntünün dalgacık katsayıları ile PAN görüntüden

elde edilen dalgacık dönüşüm katsayıları yer değiştirilir ve ters dalgacık dönüşümü görüntüye uygulanır ve bu sayede çözünürlüğü yüksek MS görüntü elde edilir (Sümengen, 2012).

2.1.6. HPF (High Pass Filter) yöntemi

Yüksek Geçiren Süzgeç (High Pass Filter-HPF) yönteminde, MS ve PAN görüntülere oranları ölçüsünde filtreler seçilerek (9X9, 7X7 veya 5X5) görüntüye uygulanır. Uygulanan filtrede ortadaki değer hariç diğer değerler -1, ortasındaki değer ise toplamı 0 yapmaya yetecek şekilde seçilir. Örneğin Tablo 1’de gösterildiği gibi 5x5 boyutunda filtrenin orta değeri 24 olarak alınır.

Tablo 1. 5X5 boyutlarında filtre

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	24	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1

Bu filtrenin uygulanması ile yüksek geçiren değer elde edilmiş ve tüm bantlara uygulanması suretiyle de çözünürlük artırılmış olur. PAN bant ile MS bant arasındaki oran “r” olarak alınır ise filtre boyutu “2r+1” olacaktır ki bu da Göktürk-1 uydu görüntüleri için 9X9 boyutlarında bir filtre uygulanması gerektiği anlamına gelir. Pankromatik bantta yüksek geçiren süzgeçten geçirilerek elde edilen görüntünün MS görüntüdeki tüm bantlara uygulanması esasına dayanır. Bu yöntemde mekânsal bilginin kullanımı daha optimize edilmek amacıyla elde edilen keskinleştirilmiş bantlar orijinal görüntünün bantlarına göre normalize edilir. MS görüntüler pankromatik görüntüye göre ölçeklendirildikten sonra seçilmiş olan filtre ile keskin görüntü elde edilir. MS görüntüdeki bantlara göre elde edilen oran kullanılarak süzgeçten geçirilmiş görüntü normalize edilir. Ardından elde edilen görüntü ile MS görüntüdeki ölçeklendirilmiş bantlar birleştirilir. Ortaya çıkan renkli görüntü, orijinal MS görüntü ile standart sapması ve ortalaması eşitlenecek şekilde tekrar normalize edilir ve yüksek mekânsal çözünürlüklü renkli görüntü elde edilir.

2.1.7. Gram-Schmidt yöntemi

Gram-Schmidt yönteminde, IHS ve PCA yöntemlerinden farklı olarak tüm bantlara uygulanır ve MS görüntünün örnekleme yapılması suretiyle değil de MS görüntülerin ortalamasına göre PAN görüntünün çözünürlüğünün simüle edilmesi suretiyle elde edilen düşük çözünürlüklü PAN

görüntünün ilk bant olarak kullanılmasından yola çıkılarak işlemlere başlanır.

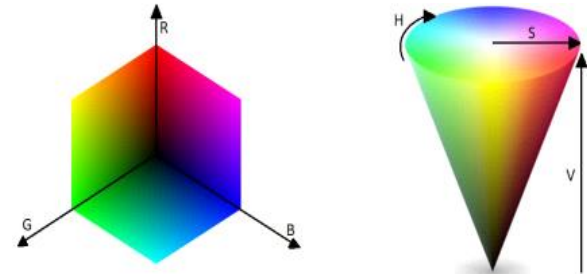
$$Pan_{sim} = \sum_{k=1}^n w_k MS_k \quad (14)$$

Simüle edilen pankromatik bantı ilk bant olarak kullanılır, simüle edilmiş bu ilk bant PAN ve MS bantlar üzerinde Gram-Schmidt dönüşümünün gerçekleştirilir. Bu işlem yapılırken bantların birbirine dik olmasına özen gösterilir, örneğin PAN bantın Kırmızı banda dik olmasını sağlayacak açı hesaplanarak bu kadar kaydırılır. Bu işlem sırası ile tüm bantlara uygulanır. Bu işlemler sonunda yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü bantı ilk Gram-Schmidt yönteminde elde edilen bant ile yer değiştirilir. Pankeskinleştirilmiş MS bantları oluşturmak için ters Gram-Schmidt dönüşüm uygulanır ve böylelikle pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir (Maruer, 2013).

2.1.8. HSV (Hue Saturation Value) yöntemi

Bu yöntemde de IHS yönteminde olduğu gibi yoğunluk renk doygunluk uzayı yerine renk doyumu değeri uzayı kullanılır. MS görüntüsündeki bantlar HSV renk uzayına dönüştürüldükten sonra pankromatik bantındaki yüksek mekânsal görüntü ile birleştirilip keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

RGB renkler HSV uzayına dönüştürüldükten sonra HSV renk uzayındaki değer (value) yerine yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip pankromatik görüntü yerleştirilir ve tekrar RGB renk uzayına dönüştürülür.



Şekil 10. RGB ve HSV renk-uzay grafikleri

Şekil 10’da görülen 3 eksenli renk uzayı koni biçimindeki HSV renk uzayına dönüştürüldüğünde koni yüksekliği rengin değerini temsil etmektedir. Bu değer yerine pankromatik görüntüden alınan değer yazılır ve böylece yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmiş olur.

2.2. Kullanılan Matematiksel Ölçütler

Görüntü birleştirme yöntemleri uygulanarak elde edilen görüntülerin başarısını ölçmek, yöntemleri karşılaştırabilmek ve çeşitli parametrik değerlerin etkisini görmek için kalite değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla bu çalışmada, literatürde kabul gören ve sıkça kullanılan beş adet değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Pankeskinleştirme işlemi

sonunda elde edilen görüntünün en kolay ve gözlemlenebilir değerlendirme ölçütü görsel değerlendirmedir. Ancak görsel olarak görüntüleri değerlendirme işlemi objektif yapılamamaktadır. Elde edilen görüntünün ne kadar keskin ya da ne kadar renkli olduğu değerlendirmeyi yapan kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir. Hatta görüntülerin birbirine çok yakın olduğu durumlarda görsel olarak kıyaslama yapmak nerede ise imkânsızdır. Ayrıca bazen görsel olarak iyi görünen görüntülerin orijinal renk değerlerine göre farklı değerleri barındırdığı gözlemlenmiştir. Kullanılan birleştirme kalite değerlendirme yöntemlerinde referans görüntü olarak Göktürk-1 MS görüntü, kalitesi hesaplanacak olan görüntü olarak ise Göktürk-1 PAN ve MS görüntülerinin görüntü birleştirme yöntemleri uygulanarak elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntü kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler yaygın olarak kullanılan ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) "Boyutsuz Global Görelî Sentez Hatası", RMSE (Root Mean Square Error) "Karesel Ortalama Hata", CC (Correlation Coefficient) "Bağlılık Katsayısı" ya da "Korelasyon Katsayısı", RASE (Relative Average Spectral Error) "Göreceli Ortalama Spektral Hata" ve UIQI (Universal Image Quality Index; QAVE yani Q-ave(average) Ortalama Kalite) bir başka deyişle "Evrensel Görüntü Kalitesi İndeksi" olmak üzere 5 adet matematiksel ölçüt ile MATLAB yazılımı üzerinden değerlendirilmiştir. QAVE ve UIQI ölçütleri aynıdır literatürde ikisinin de kullanımı mevcuttur. Biz yaptığımız analizler sonucunda oluşturduğumuz tablo ve grafiklerde QAVE ismini kullanacağız.

ERGAS: Bu ölçüt, Pankeskinleştirilmiş görüntüdeki bant değerlerinin yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe geçerken ki kalitesini ölçer. ERGAS sonucu elde edilen değerler ne kadar küçük ise yani sifıra ne kadar yaklaşır ise o kadar başarılı sayılır

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2} \quad (15)$$

Burada; N bant sayısını, RMSE karesel ortalama hatayı, $\frac{h}{l}$ PAN görüntüdeki piksel değerlerinin MS görüntüdeki piksel değerlere oranını, $\mu(n)$ ise n. bandın ortalamasını ifade etmektedir.

RMSE: "Karesel Ortalama Hata" (RMSE) MS görüntü ile pankeskinleştirilmiş görüntü arasındaki farkların karesel ortalama hatasını temel alan ölçüttür. Bu hesaplama sonucunda elde edilen değerler ne kadar küçük olursa birleştirme kalitesi o kadar başarılı olmuş demektir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (X_i(x) - Y_i(y))^2}{n \ x \ m \ x \ d}} \quad (16)$$

Denklemden yer alan ifadelerden; "X", MS görüntüyü, "Y", pankeskinleştirme işlemi sonrasında elde edilen

görüntüyü, "x" piksel indeksini, "i" bant numarasını göstermektedir. Bölen kısımda satır sayısı "n" ile, sütun sayısı "m" ile "m" ile, bant sayısı "d" ile ifade edilmektedir. Referans değer "1" olması beklenmektedir.

CC: Bu ölçüt, bağlılık katsayısı ya da korelasyon katsayısı olarak da adlandırılır. Ölçütün matematiksel ifadesi formül (17) da verilmiştir. Burada \bar{X} ve \bar{Y} sırasıyla MS görüntü ve pankeskinleştirilmiş görüntülerin ortalamasını ifade etmektedir. Bu eşitlik iki görüntü arasındaki bağlılık katsayısını ifade eder.

$$CC(X, Y) = \frac{\sum_{mn} (X_{mn} - \bar{X})(Y_{mn} - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_{mn} (X_{mn} - \bar{X})^2)(\sum_{mn} (Y_{mn} - \bar{Y})^2)}} \quad (17)$$

RASE: Bu ölçüt, Göreceli Ortalama Spektral Hata olarak da adlandırılır ve karesel ortalama hata yönteminden türetilmiştir. Bu ölçütün matematiksel büyüklüğü (18) eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$RASE = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{RMSE^2(i)}{G(MS_i)} \right)} \quad (18)$$

Bu ifadede $G(MS_i)$ ifadesi MS görüntünün i'inci bandı için algılayıcı kazanç değerini ifade etmektedir. Bu yöntem kullanılarak elde edilen değerler ne kadar küçük olursa, birleştirme kalitesi o kadar başarılı olur.

QAVE: Bu ölçüt, Q-ave yani Q-average - Ortalama Kalite ya da Evrensel Görüntü Kalitesi İndeksi (UIQI) olarak da adlandırılır. Bu ölçüt spektral bozulmayı üç etken açısından inceler. Bu etkenler ilinti kaybı, parlaklık bozulması ve kontrast bozulmasıdır.

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{X}\bar{Y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{X})^2 + (\bar{Y})^2]} \quad (19)$$

$x = \{x_i | i=1, 2, \dots, N\}$ ve $y = \{y_i | i=1, 2, \dots, N\}$ sırasıyla MS ve birleştirilmiş görüntü vektörlerini ifade etmektedir (Açıkgöz, 2015).

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (20)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (21)$$

$$Q_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (22)$$

UIQI metriği bir başka deyişle görüntüdeki korelasyon kaybının, parlaklık değişiminin ve kontrast değişiminin birleştirilmiş modeli olarak tanımlanmıştır. (Abdikan, 2017).

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Bulgular

Görsel sonuçların gösterimi için Şekil 11'de görülebileceği üzere Anıtkabir bölgesi (Ankara)

kullanılmıştır. PAN ve MS görüntü ile birlikte pankeskinleştirme sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 11. Görüntünün tamamı ve görsel olarak kullanılan alan



(a)



(b)



(c)



(c)



(d)



(e)



(f)



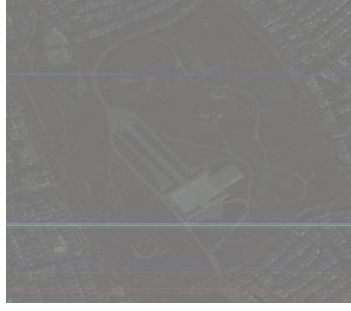
(g)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)



(p)



(q)



(r)



(s)



(t)



(u)



(v)



(u)

Şekil 12.a) PAN **b)** MS **c)** ENVI - Color Normalized Brovey **ç)** ENVI - Gram Schmidt **d)** ENVI - HSV **e)** ENVI - NNDiffuse **f)** ENVI - PC Pansharpening **g)** ERDAS - HCS Resolution Merge **ğ)** ERDAS - HPF Resolution Merge **h)** ERDAS - Modified IHS Resolution Merge **ı)** ERDAS - NNDiffuse **i)** ERDAS - Projective Resolution Merge **j)** ERDAS - Resolution Merge Brovey **k)** ERDAS - Resolution Merge PCA **l)** ERDAS - Subtractive Resolution Merge **m)** ERDAS - Subtractive Resolution Merge - Legacy **n)** ERDAS - Wavelet Resolution Merge IHS **o)** ERDAS - Wavelet Resolution Merge Single Band **ö)** ERDAS - Wavelet Resolution Merge PC **p)** HASAT - Brovey **r)** HASAT - Esri **s)** HASAT - IHS **ş)** PCI - MRA **t)** PCI - PANSHARP **u)** PCI - UNB

Tüm yöntemler için elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur. Farklı programlarda bulunan farklı algoritmalarla elde edilen paneskinleştirilmiş

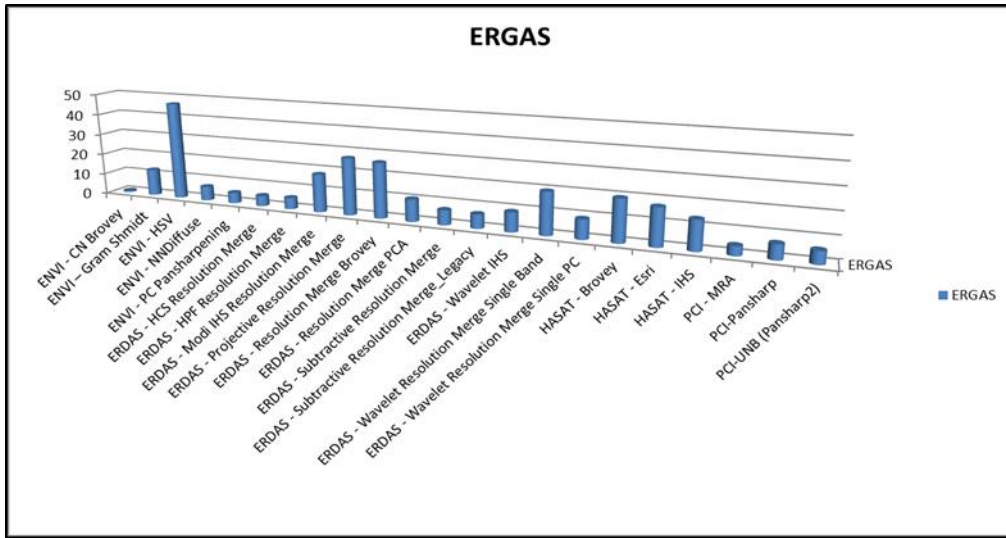
görüntüler MATLAB programında açık kaynaklarda kolaylıkla bulunabilinen ve en çok kullanılan metrik yöntemlerle kıyaslanmıştır.

Tablo 2. Matematiksel ölçütler sonucu elde edilen bulgular

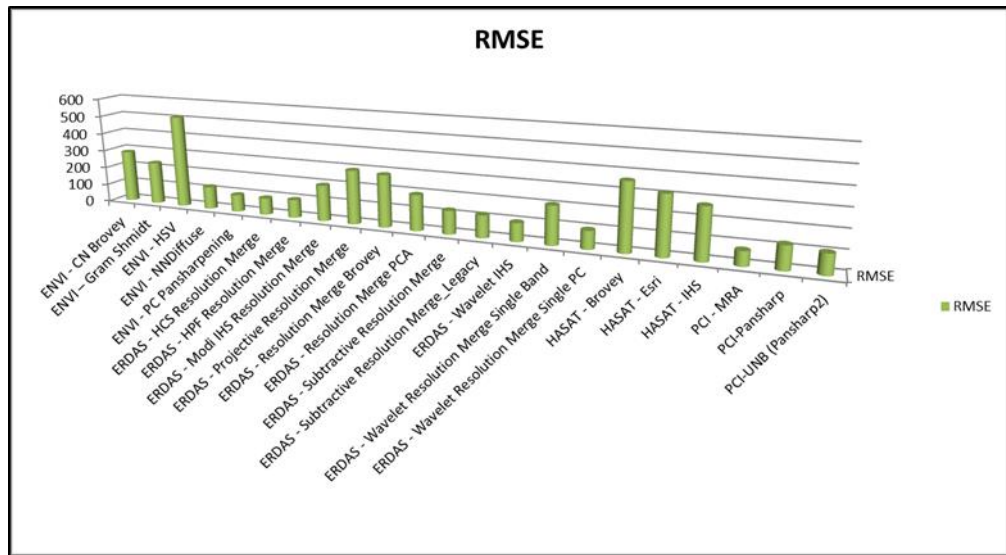
	ERGAS	RMSE	CC	RASE	QAVE
Referans Değer	0	1	1	1	1
ENVI - CN Brovey	0,718905	287,1068	0,718905	52,53389	0,544562
ENVI - Gram Schmidt	12,70875	235,0328	0,838463	50,835	0,794311
ENVI - HSV	46,76136	511,329	0,526591	93,52272	0,062528
ENVI - NNDiffuse	6,726921	124,6372	0,951297	26,90769	0,942416
ENVI - PC Pansharpening	5,103709	94,46666	0,960671	20,41484	0,960669
ERDAS-HCSResolution Merge	4,978923	92,25477	0,964394	19,91569	0,963976
ERDAS - HPF Resolution Merge	5,386647	99,83811	0,959467	21,54659	0,953767
ERDAS-Modi IHS Resolution Merge	18,07936	197,202	0,608661	36,15871	0,577839
ERDAS-NNDiffuse	1978,621	36292,16	-0,84525	7914,485	-0,00085
ERDAS-Projective Resolution Merge	26,98317	295,0096	0,615377	53,96635	0,492526
ERDAS-Resolution Merge Brovey	26,15847	286,0085	0,723664	52,31693	0,549724
ERDAS - Resolution Merge PCA	10,51012	194,6094	0,949002	42,0405	0,896366
ERDAS-Subtractive Resolution - Merge	6,94250	127,3270	0,933099	27,94891	0,932145
ERDAS-Subtractive Resolution Merge_Legacy	6,558653	121,5391	0,938786	26,23461	0,937948
ERDAS - Wavelet IHS	9,108943	99,70032	0,867044	18,21789	0,858441
ERDAS-Wavelet Resolution Merge SinglenBand	19,70675	208,3006	0,723197	39,4135	0,675317
ERDAS-Wavelet Resolution Merge PC	9,040227	98,39511	0,873338	18,08045	0,865941
HASAT - Brovey	19,64463	363,8174	0,949506	78,57851	0,417672
HASAT - Esri	17,408	318,5911	0,946895	69,63199	0,798957
HASAT - IHS	13,71271	275,344	0,941968	54,85086	0,922434
PCI - MRA	4,20269	77,77741	0,973583	16,81076	0,973554
PCI-Pansharp	6,819101	126,294	0,930293	27,2764	0,930291
PCI-UNB (Pansharp2)	5,794949	107,3482	0,949371	23,1798	0,94937

Edilen sonuçlara göre, ERDAS NNDiffuse yönteminde elde edilen bulgulara kaba hata olduğu kabul edilebilir. Kaba hatalı oluğu değerlendirilen

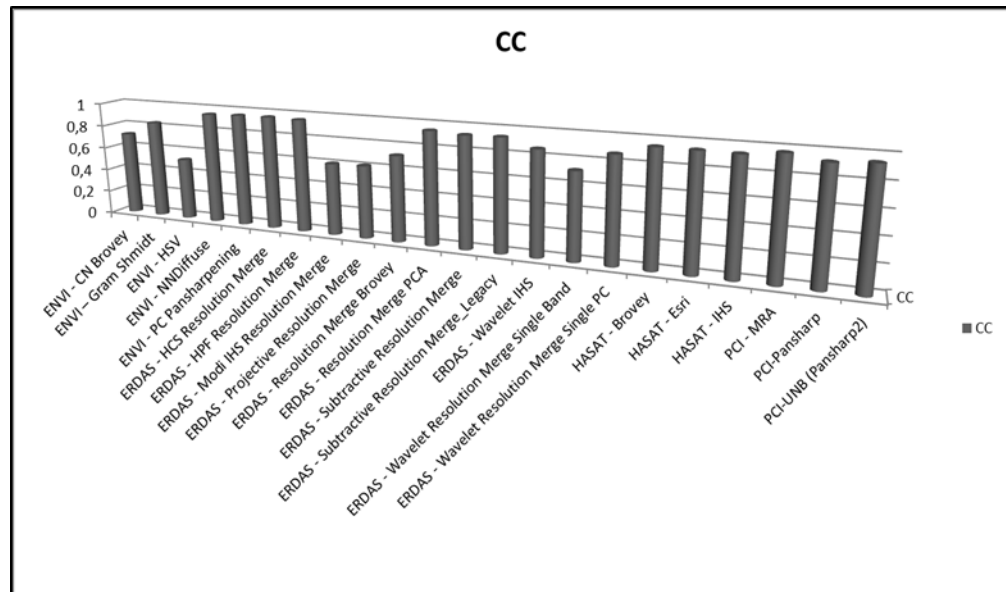
yöntem matematiksel ölçütlerden çıkarıldıktan sonraki grafikler Şekil 13’de sunulmuştur.



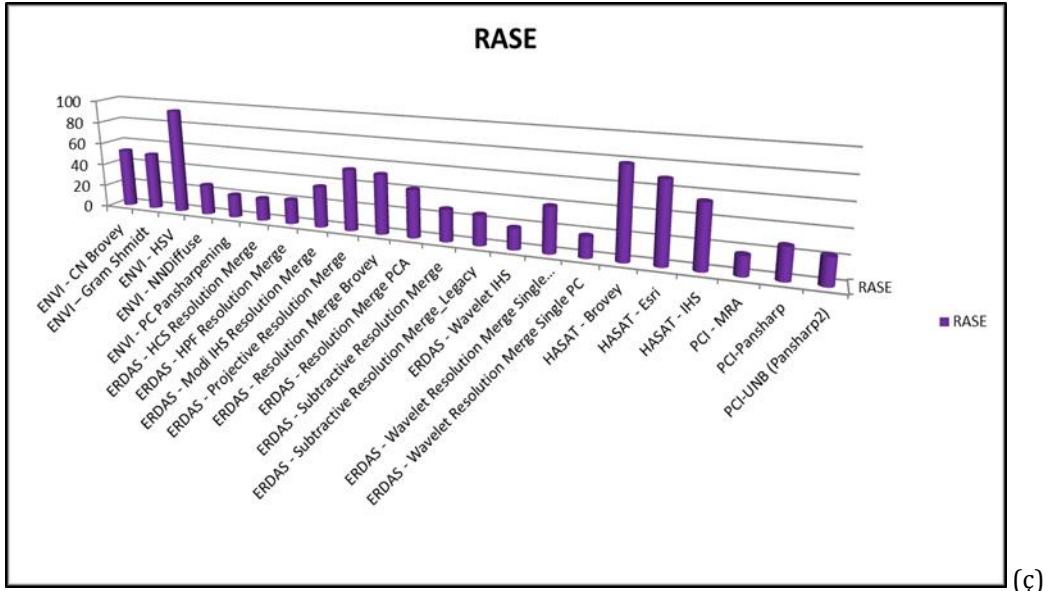
(a)



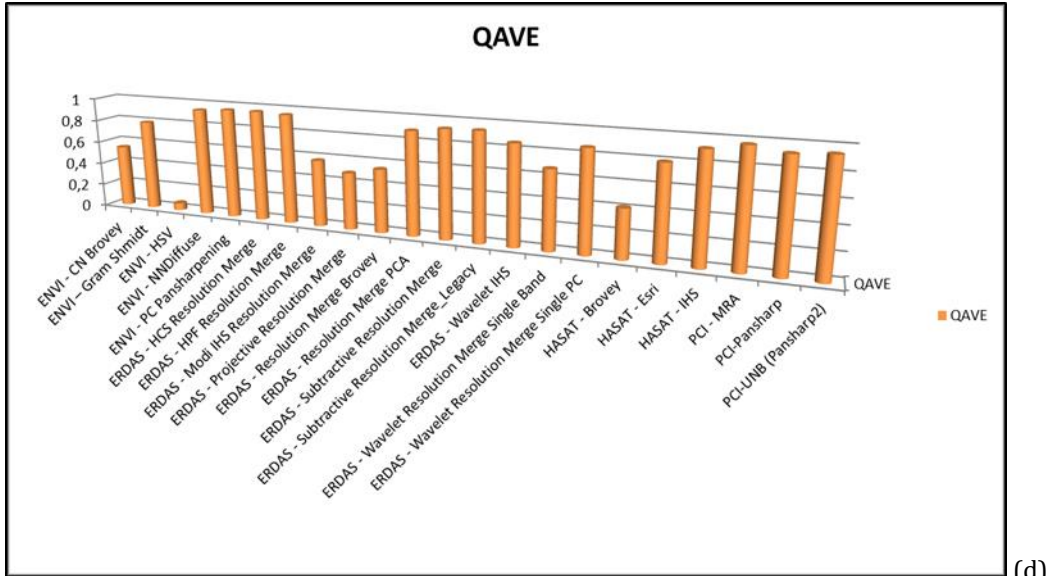
(b)



(c)



(c)



(d)

Şekil 13.(a-d) Hatalı ERDAS NNDiffuse sonuçları atıldıktan sonraki metrik sonuçlar

Yazılımların metrik sonuç seçenekleri içerisinde ayrı bir değerlendirme yapacak olursak;

QAVE metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, RASE metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge” ve HASAT yazılımı ile pankeskinleştirilen görüntüler, CC metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, “ERDAS Modified IHS Resolution Merge” ve “ERDAS Projective Resolution Merge”, RMSE metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, “HASAT – ESRI ve Brovey” ve “ERDAS Projective Resolution Merge”, ERGAS metriğinde; “ENVI – HSV Resolution Merge”, “ERDAS Projective Resolution Merge” ve “ERDAS Projective Resolution Merge” yöntemleri ile elde edilen görüntüler başarısız sonuçlar vermiştir.

3.1. Değerlendirme

Görsel olarak görüntüleri kıyaslamak kişiden kişiye mutlaka farklılıklar gösterecektir. Görüntüler arasındaki en iyi görüntüyü seçmek uzmanlık gerektirir. Göktürk-1 uydu görüntüleri için

kullanılan her yazılım içerisinde bir ya da birden çok algoritmanın iyi sonuç verdiği ortaya konulmuştur. Değerlendirmeler görsel ve metrik olarak iki kısımda özetlenebilir.

3.1.1. Görsel değerlendirme

ENVI yazılımı ile yapılan pankeskinleştirme sonuçlarına göre en güzel sonucun “NNDiffuse Pan Sharpening” yöntemi ile elde edilen görüntü olduğu açıktır. ENVI’de kullanılan “Gram Schmidt Pan Sharpening” algoritması da diğerlerine göre güzel sonuç vermiştir. ENVI “HSV Sharpening” algoritması ile elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntünün hatalı çıktığı değerlendirilmektedir.

ERDAS yazılımı ile 12 adet pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilmiş, “NNDiffuse Resolution Merge” algoritmasının hatalı sonuç verdiği değerlendirilmiştir. Ayrıca ERDAS “Wavelet Resolution Merge - Single Band” metodu ile elde edilen görüntü hatalı sonuç vermiştir. ERDAS

“Modified İHS Resolution Merge” yöntemi ile elde edilen görüntü ile ERDAS “Wavelet Resolution Merge – İHS” yöntemi ile elde edilen görüntüler puslu ya da yeterince net değildir. ERDAS yazılımı için “HCS Resolution Merge”, “HPF Resolution Merge”, “Resolution Merge – PCA”, “Subtractive Resolution Merge” ve “Subtractive Resolution Merge-Legacy” algoritmaları güzel sonuçlar vermiştir.

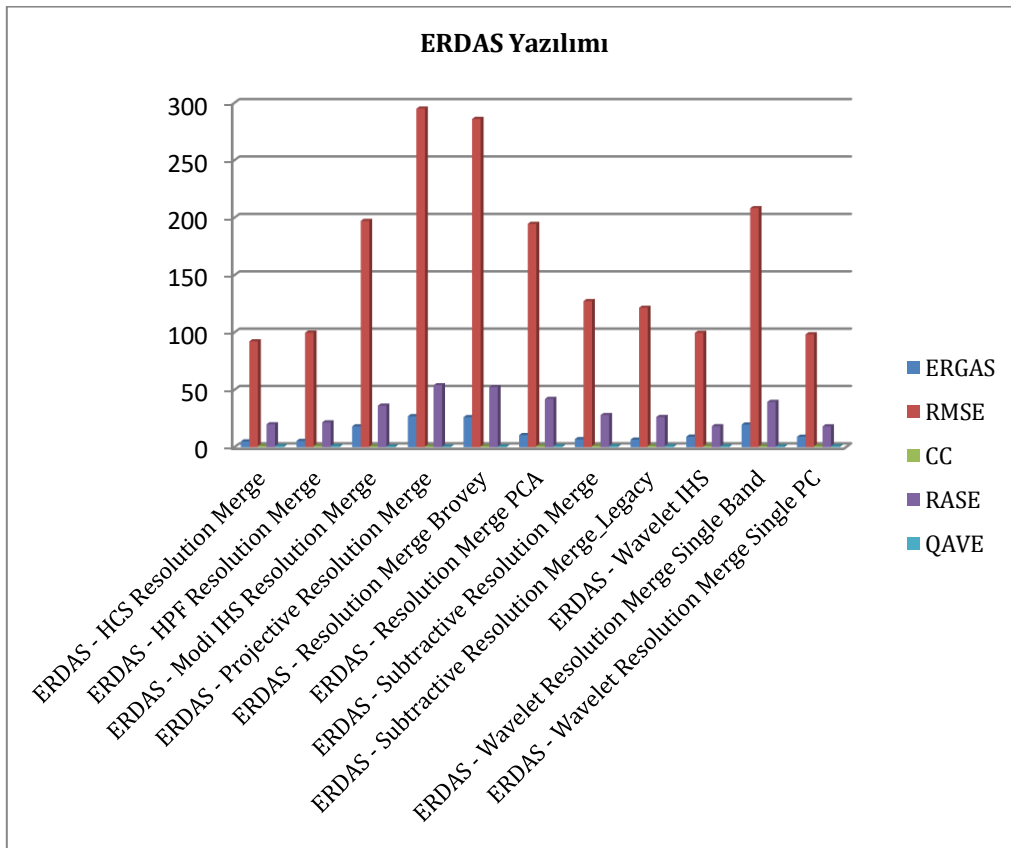
HASAT yazılımı İHS algoritmasının düzgün sonuç vermediği, Brovey ve ESRI algoritmalarının performanslı çalıştığı ve Brovey yöntemi ile elde edilen görüntünün diğerlerine göre daha yüksek doğrulukla sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir.

PCI yazılımı ile yapılan pankeskinleştirme sonuçlarının tamamının başarılı sonuçlar verdiği bunlar içerisinde UNB algoritmasından elde edilen görüntünün diğerlerine kıyasla daha iyi olduğu değerlendirilmektedir.

3.1.2 Metrik değerlendirme

Tüm metrikler içerisinde ERGAS metriğine göre; “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” yönteminin, RMSE, CC, RASE ve QAVE metriklerine göre; “PCI-MRA” yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

ERDAS yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 14’de gösterilmektedir. ERDAS yazılımı ile elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüler içerisinde “HCS Resolution Merge” yöntemi ile keskinleştirilen görüntünün ERGAS, RMSE, CC ve QAVE metriklerine göre başarılı sonuç verdiği, RASE metriğinde ise “Wavelet Resolution Merge – PC” yönteminin diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

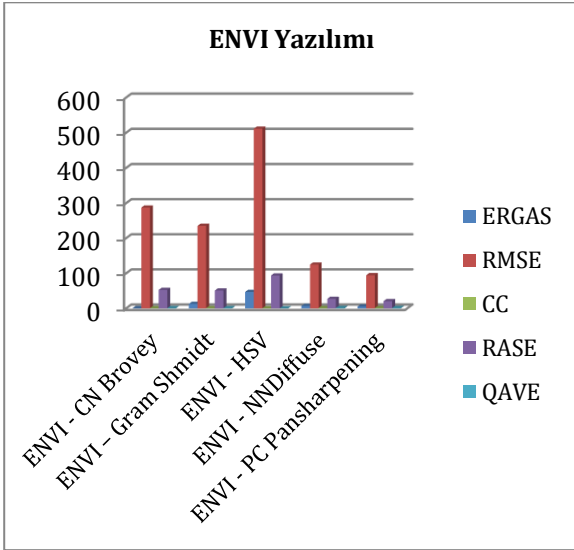


Şekil 14. ERDAS yazılımı değerlendirme grafiği

ENVI yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 15’de gösterilmektedir. ENVI yazılımı ile elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüler içerisinde “ENVI Color Normalized (Brovey) Sharpening” yöntemi ile elde edilen görüntünün ERGAS metriğinde iyi

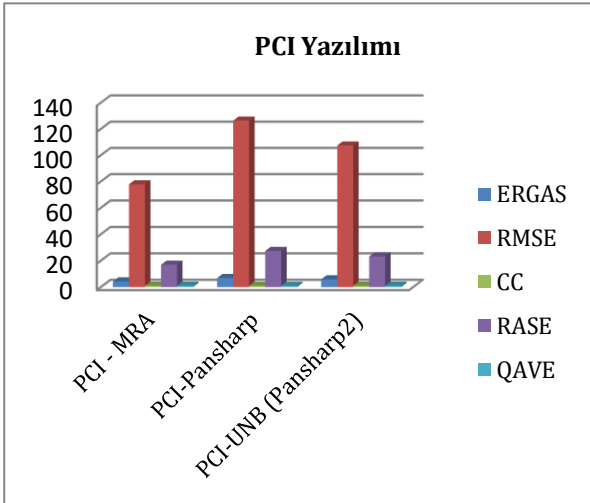
sonucu verdiği, “ENVI PC Spectral Sharpening” yöntemi ile elde edilen görüntünün ise RMSE, CC,

RASE ve QAVE metriklerinde diğerlerine göre en iyi sonuçları verdiği anlaşılmaktadır.



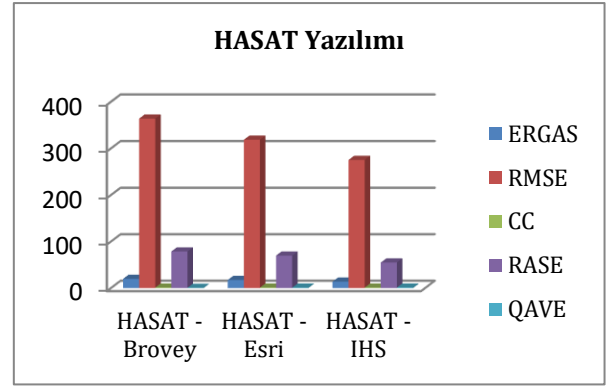
Şekil 15. ENVI yazılımı değerlendirme grafiği

PCI Geomatica yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 16'da gösterilmektedir. PCI yazılımı ile pankeskinleştirilen görüntüler içerisinde RMSE, ERGAS, CC, RASE ve QAVE metriklerine göre PCI-MRA yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 16. PCI yazılımı değerlendirme grafiği

HASAT yazılımı için metrik sonuçlar Şekil 17'de gösterilmektedir. HASAT yazılımı ile pankeskinleştirilen görüntüler içerisinde CC metriğine göre "HASAT-Brovey" yöntemi ile pankeskinleştirilen görüntü diğerlerine göre daha iyi sonuç verirken ERGAS, RMSE, RASE ve QAVE metriklerine göre "HASAT - IHS" yöntemi ile elde edilen görüntü daha iyi sonuçlar vermiştir.



Şekil 17. HASAT yazılımı değerlendirme grafiği

4. SONUÇ

Göktürk-1 uydu görüntülerinin pankeskinleştirilmesi için bir öneri verilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarından da anlaşılacağı üzere kullanılacak yazılımın performansı farklılıklar gösterebilir. Ayrıca Spot uydu görüntü alanının (15km*15km) kapsadığı sahanın türü de (meskûn saha, ormanlık saha, suyla kaplı alan, toprak kaplı saha vs.) yazılımın ve kullanılacak pankeskinleştirme algoritmasının belirlenmesinde etken olmaktadır. Kullanılacak yazılımın aynı algoritmalar üzerindeki performansı bu çalışmadan da görüleceği üzere farklılık arz edebilir. Örneğin Brovey algoritması ile pankeskinleştirilen görüntü ENVI, ERDAS ve HASAT'da farklılıklar göstermiştir. Bunun nedeni firmalar tarafından ilgili algoritmaların yanında çeşitli filtrelerin alt programlara ilave edilmiş olmasıdır. Pankeskinleştirme işlemi uygulamadan önce ilgili uydu görüntüsü (Göktürk-1, Pleiades, Worldview vs.) üzerinde hangi filtreler uygulandığında güzel sonuçlar verdiği, hangi algoritmalarla pankeskinleştirilmesi gerektiği konularında daha önceden yapılmış olan çalışmalara göz atılması gerekmektedir. Göktürk-1 uydu görüntülerini pankeskinleştirmek için elinizde bulunan programa türüne göre ERDAS Imagine yazılımında ERDAS Resolution Merge, Subtractive Resolution Merge ya da HCS Resolution Merge, ENVI yazılımında NNDiffuse Pan Sharpening, HASAT yazılımında Brovey ve PCI Geomatica yazılımında UNB (PANSARP2) sekmelerinin kullanılmasının doğru olacağı sonucuna varılabilir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Makalenin ortaya çıkarılmasında bilgi birikim ve tecrübelerini sürekli paylaşan komutanlarım Dr.Müh.Alb.Veyssel Okan ATAK'a ve Alb.Fatih Güven GÜLTEKİN'e, saygıdeğer hocam Prof.Dr.Ferruh YILDIZ'a, metrik ölçütleri yapmamda MATLAB yazılımı konusunda desteğini gördüğüm sayın Saygın ABDİKAN hocama ve her zaman manevi desteğini esirgemeyen eşim Gönül SEFER ÜNAL ve oğlum Atahan ÜNAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKÇA

- Abas, A. (2015). Uzaktan Algılama Sistemlerinde Görüntü Füzyonu. TUFUAB VIII.Teknik Sempozyumu, (s. 183-189), Konya.
- Abdikan, S. (2014). A comparative data-fusion analysis of multi sensor satellite images.Int.J Digital Earth, 671-687
- Abdikan, S. (2017). Rasat Verisi Kullanarak Farklı Pan-Keskinleştirme Yöntemlerinin İstatistiksel Analizi. Türk Coğrafya Dergisi, 57-62.
- Açıkgöz, İ. S. (2015). Uydu Görüntülerinin Pan Keskinleştirilmesi ve Performans Analizi. Ankara.
- Ayhan, E. (2014). Uzaktan Algılamada Görüntü Birleştirme için Kalite Analizleri. 5. UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2014), İstanbul.
- Basaeed, E. (2013). Comparative Analysis of Pan-sharpening Techniques on DubaiSat-1 images. 16th International Conference Information Fusion(FUSION).
www.researchgate.net/publication/26134.
- Czaja, W. (2014). Wavelet Packet Mixing for Image Fusion And Pan-Sharpener. Conference Proceeding of SPIE (Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers).
- Despini, F. (2016). Methods and metrics for the assessment of Pan-sharpening algorithms.
- Gore, S. A. (2016). A Comparative Analysis of Pansharpening Techniques on QuickBird and WorldView-3 Images. Geocarto International.
- Gürçay, E. (2019). Göktürk-1 Uydusu Radyometrik ve Geometrik Kalibrasyon Faaliyetleri. Hava Kuvvetleri Dergisi,Ankara.
- Gültekin, F.G.(2019). Geometric Accuracy in Satellite Imagery-Test Methods&Göktürk-1 Performance Evaluation, RAST 2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies.
- Kahraman, S. (2017). A Comprehensive Review Of Pansharpening Algorithms For Göktürk-2 Satellite Images. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS, Volume IV-4/W4, 2017 (s. 263-270), Karabük.
- Maruer, T. (2013). How To Pan-Sharpener Images Using TheGram-Schmidt Pan-Sharpener Method-A Recipe. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (s. 239-244). Hannover: ISPRS.
- Özdemir, M. (2017). Görüntü Keskinleştirme Yöntemlerinin Nesne-Yönelimli İSınıflandırma Açısından Değerlendirilmesi (Evaluation ofImage Pan-Sharpener Methods In Terms of Object-Oriented Classification). HARİTA DERGİSİ, s. 26-34.
- Özendi, M. (2014). Pleiades-1A Görüntülerinin Pan-Sharpener Performansının İncelenmesi. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu. UZAL-CBS, İstanbul
- Özendi, M., Topan, H., Oruc, M. ve Cam, A. (2015). "Pan-sharpeningquality investigation of PLÉIADES-1A images", Geocarto International, Taylor & Francis GroupDOI: 10.1080/10106049.2015.1094520.
- Parente, C. (2017). Influence of the weights in IHS and Brovey methods for pan-sharpening WorldView-3 satellite images. International Journal of Engineering & Technology, s. 71-77.
- Snehmani A., Ashwagosh G., Satish K., Srivastava P.K., ve Hari Ram R.P. (2016). A comparative analysis of pansharpening techniques on QuickBird and WorldView-3, Geocarto InternationalTaylor & Francis GroupDOI: 10.1080/10106049.2016.1206627.
- Sümengen, S. (2012). Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüler için Pankromatik Keskinleştirme Yöntemi. HAVELSAN A.Ş.
- Teke, M. (2014). RASAT Uydu Görüntülerinin Optimal Pankeskinleştirilmesi. Ankara: TÜBİTAK UZAY.
- Topan, H. (2016). Pleiades Project: Assessment Of Georeferencing Accuracy, Image Quality, Pansharpening Performance And DSM/DTM Quality. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 (s. 503-510). Prague: ISPRS.

