



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN
PANKESKİNLEŞTİRME PERFORMANSININ
İNCELENMESİ

Ahmet ÜNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Ahmet ÜNAL

Haziran 2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKTÜRK-1 UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN PANKESKİNLEŞTİRME PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Ahmet ÜNAL

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

2020, 61 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ

Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın istenilen zamanda ve herhangi bir engele maruz kalmaksızın askeri istihbarat isteklerini karşılayabilecek şekilde yüksek çözünürlüklü olarak görüntü elde edilmesine imkân tanıyacak, 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.

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 11 farklı algoritma ile pankeskinleştirilmiş, elde edilen görüntüler içerisinde görsel olarak UNB algoritması ile pankeskinleştirilen görüntünün, matematiksel olarak HCS algoritması ile pankeskinleştirilen görüntünün iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çözünürlük, Göktürk-1, Görüntü Birleştirme, Pankeskinleştirme, Uydu Görüntüsü.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF PANSHARPENING PERFORMANCE ON GÖKTÜRK-1 SATELLITE IMAGES

Ahmet ÜNAL

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

2020, 61 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ**

The need to supply a satellite system that will meet the image requirement in the fields of activity such as product yield detection and geographic map data has created the Göktürk-1 Satellite Project which will enable any point in the world to be obtained at any time and without being exposed to any obstacle to obtain high resolution images so as to meet the demands of military intelligence, at the same time, control of forest areas by public and private sector, follow-up non-zoning, detection of damage needed after natural disasters.

Satellite images are subject to many image processing processes before they are presented to the users. The process of combining a high spatial resolution panchromatic image with a multispectral image, namely, pansharpening is an important part of these image processing steps.

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 have been compared, a selected sample Göktürk-1 satellite image has been pansharpened with 11 different algorithms, visually the image that has been pansharpened by the UNB algorithm, and mathematically the image that has been pansharpened with the HCS algorithm has yielded good results.

Keywords: Göktürk-1, Image Fusion, Pansharpening, Resolution, Satellite Image

ÖNSÖZ

Yapmış olduğumuz tez çalışmasında öncelikle, izlenmesi gereken yolu gösteren ve her zaman destek olan danışmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ferruh YILDIZ 'a, her konuda bana yol göstermekten imtina etmeyen değerli komutanım Dr. Müh. Alb. Veysel Okan ATAĞ'a, tezin sayısal başarı ölçütlerini MATLAB yazılımında kullanmamıza aracı olan Saygın ABDİKAN hocama, yazılımlarda ihtiyaç duyduğum her zaman destek olan Mustafa Metin TETİK'e, her zaman maddi/manevi yardımlarını esirgemeyen eşim Gönül SEFER ÜNAL'a ve onunla geçireceğim zamanlardan feragat ederek tezime zaman ayırmama müsaade eden biricik oğlum Atahan ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmada yer alan hususlar bireysel görüşümü yansıtmakta olup, Türk Silahlı Kuvvetlerinin görüşlerini yansıtmaz.

Ahmet ÜNAL
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Göktürk-1 Uydu	7
3.1.1. Göktürk-1 uydusu teknik özellikleri	9
3.1.2. Uydu görüntü seviyeleri.....	11
3.1.3. Uydu görüntü testleri	13
3.2. Görüntü Birleştirme	15
3.3. Görüntü Keskinleştirme (Pankeskinleştirme-Pansharpening)	15
3.4. Görüntü Keskinleştirme Yöntemleri.....	17
3.4.1. Brovey yöntemi.....	17
3.4.2. Yoğunluk renk doyumu (IHS) yöntemi	18
3.4.3. Temel birleşen analizi (PCA) yöntemi	20
3.4.4. Hiperküre renk uzayı (HCS) yöntemi	21
3.4.5. Dalgacık dönüşümü yöntemi	23
3.4.6. Yüksek geçirgenli filtreleme (HPF) yöntemi.....	24
3.4.7. Gram-Schmidt yöntemi.....	25
3.4.8. Renk doyumu değeri (HSV) yöntemi	26
3.4.9. En yakın komşu difüzyon (NNDiffuse) yöntemi.....	27
3.4.10. ESRİ yöntemi.....	29
3.5. Görüntü Birleştirme İçin Kullanılan Yazılımlar	29
3.5.1. Ticari yazılımlar (PCI, ENVI ve Erdas Imagine)	31
3.5.2. HASAT yazılımı	33
3.6. Görüntü Birleştirme İçin Kullanılan Matematiksel Ölçütler	34
3.6.1. ERGAS (Boyutsuz Göreceli Sentez Hatası)	34
3.6.2. RMSE (Karesel Ortalama Hata)	35
3.6.3. CC (Korelasyon Katsayısı)	35
3.6.4. RASE (Göreceli Ortalama Spektral Hata)	36
3.6.5. QAVE (Evrensel Görüntü Kalite İndeksi).....	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	38
4.1. Test Alanı ve Görüntü Özellikleri	38
4.2. Görüntü Birleştirme İşlemleri	38
4.3. Elde Edilen Sonuçlar	40
4.3.1. Görsel sonuçlar	41

4.3.2. Metrik sonuçlar	51
4.4. Tartışma	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR	58
EKLER	60
ÖZGEÇMİŞ	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AŞTİ	: Ankara Şehirlerarası Terminal İşletmesi
BDS	: Band Dependent Spatial Detail
CC	: Correlation Coefficient
CN	: Color Normalized
CPU	: Central Processing Unit
CIELAB	: Commission internationale de l'éclairage (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu Laboratuvarı)
DFT	: Discrete Fourier Transform (Ayrık Fourier Dönüşümü)
ERGAS	: Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse
ERTS-1	: Earth Resources Technology Satellite
GLP	: Generalised Laplacian Pyramid
GS	: Gram-Schmidt
GCP	: Ground Control Point-Yer Kontrol Noktası
GGs	: Göktürk Ground Station (Göktürk Yer İstasyonu)
GPU	: Graphical Processing Unit
HCS	: Hyperspherical Color Space (Hiperküre Renk Uzayı)
HPF	: High Pass Filter (Yüksek Geçirgenli Filtreleme)
HFM	: High Frequency Modulation (Yüksek Frekans Modülasyonu)
HSV	: Hue Saturation Value (Renk Doygunluk Değeri)
IHS	: Intensity, Hue, Saturation (Yoğunluk Renk Doyumu)
IES	: Image Exploitation Service
IPS	: Ingestion and Processing Services
LTAN	: Local Time Ascending Node (Yükseliş Düzümü Yerel Zamanı, bir uydunun ekvatoru güneyden kuzeye doğru ekvatoru kestiği bölgedeki yerel saattir.)
MGS	: Mobile Ground Station (Taşınabilir Yer İstasyonu)
MS	: Multi Spectral (Çok Spektrallı)
MTF	: Modulation Transfer Function (Modülasyon Transfer Fonksiyonu)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
Opt.HPF	: Optimized High Pass Filter (Optimize Edilmiş Yüksek Geçirgen Filtre)
PAN	: Pankromatik görüntü
PCA	: Principal Component Analysis
PSNR	: Peak Signal to Noise Ratio-En Yüksek Sinyal Hata Oranı
QAVE	: (Q-ave ; Quality average ; Ortalama Kalite) = UIQI
RASE	: Relative Average Spectral Error
RGB	: Kırmızı, Yeşil ve Mavi renkler
RMSE	: Root Mean Square Error
SAM	: Spectral Angular Mapper
SDT	: Space Defence Technology
SF	: Spectral Fusion
SFIM	: Smoothing Filter Intensity Modulation (Pürüzsüzleştirici Filtre Yoğunluğu Modülasyonu)
SLV	: Space Launch Vehicle (Uzay Fırlatma Aracı)
UIQI	: Universal Image Quality Index (Evrensel Görüntü Kalite İndeksi)
UNB	: University of New Brunswick
YKN	: Yer Kontrol Noktası

1. GİRİŞ

Uzaktan Algılama (Remote Sensing), herhangi bir fiziksel bağlantıya ihtiyaç duymaksızın, algılayıcı sensörleri kullanarak yeryüzünü izleme ve bilgi edinme bilimidir. Uzaktan Algılama teknolojileri yeryüzünden yansıyan enerjinin algılanması sonrasında kaydedilmesi, elde edilen verilerin bilgi çıkarmak üzere işlenmesi ve işlenen verilerin analiz edilmesinde kullanılır.

Uzaktan algılama ilk olarak askeri amaçlı olarak kullanılmış olup modern tarihi roket ve uzay teknolojisi ile başlamaktadır. Düşmanın konumunun tespit edilmesi ve askeri birliklerin en doğru şekilde yerleştirilerek komuta edilmesi askeri amaçlı kullanım uygulamalarının başında yer almaktadır. Soğuk savaş döneminde Amerika Birleşik Devletleri tarafından Sovyetler Birliği'nin Küba'ya gönderdiği füzeleri ve orduların hareketlerini izlemek için 1962'de yörüngeye askeri casus uydular gönderilmiştir. Dünya kaynaklarını incelemek için gönderilen ilk uydu olan ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) ise 1972'de Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yörüngeye fırlatılmıştır. Bu uydunun adı daha sonradan LANDSAT-1 olarak değiştirilmiştir (Kurt, 2014).

Zaman geçtikçe yer gözlem uyduları konusunda teknoloji hızlı bir gelişim göstermiş, bu gelişmeye paralel olarak uydu görüntülerinin kullanım alanları hızlı bir şekilde artmıştır. Uzaktan algılama vasıtasıyla elde edilen uydu görüntüleri yeryüzüne ait birçok işlenmemiş veriyi içinde barındırır. Yeryüzünden yansıyarak uydu alıcıları tarafından algılanan elektromanyetik enerji çeşitli bantlara kaydedilerek toplanır. Her bir bant o bandın hassasiyet gösterdiği özelliklere ait yansıma değerlerini içerir (Abas, 2011).

Spektral çözünürlük, yansıyan enerjinin algılayıcılar tarafından toplanması ve toplanan enerjinin dalga boyları arasındaki mesafe olarak adlandırılır. Algılayıcıların bu toplam dalga boyu dağılımında küçük aralıklı algılaması yüksek spektral çözünürlüğün elde edilmesini sağlar. Yer gözlem uydularında faydalı yük olarak tanımlanan görüntü alma cihazlarında birden fazla spektral görüntü alma özelliği multispektral veya hiperspektral olarak nitelendirilmektedir. Mekânsal çözünürlük ise algılayıcıdan alınan görüntünün ne kadar keskin ve detay içerdiğinin bir ölçüsüdür. Bu çözünürlük kapasitesine sahip görüntülere pankromatik görüntü ismi verilmektedir. Pankromatik görüntü, elektromanyetik spektrumun geniş bir bölümünden yansıyan enerjiyi ölçebilen algılayıcılar ile elde edilir. Pankromatik görüntü için bantlar, spektrumun görünen

bölümü ile yakın kızıl ötesi (near-infrared) bölümünü içerir ve bunlardan elde edilen veriler gri renk tonlarında görüntü olarak oluşurlar. Çok bantlı renkli görüntüler ise daha yüksek aralıklı dalga boyuna sahip görüntüleri barındırır. Bu bantlar genellikle kırmızı, yeşil ve mavi olarak algılayıcıda bulundurulur ve yüksek çözünürlüklü görüntülerde renklendirme amacı ile kullanılır. Spektral çözünürlük ve mekânsal çözünürlük bilgileri kullanılarak son kullanıcıya görüntüler sunulmaktadır. Uydu sistemlerinde pankromatik bandın daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olmasının sebebi daha çok foton yakalayabilmesidir. Çünkü daha düşük bir spektral çözünürlüğe sahiptir. Bu sayede piksel boyutu çok spektrumlu bantlara göre daha yüksek olmaktadır. Mevcut görüntü birleştirme diğer bir adıyla pankeskinleştirme işlemi çok spektrumlu bantlardan alınan görüntü bilgisini pankromatik banttı alan bilgi ile birleştirerek yüksek çözünürlüklü görüntü elde edebilmektedir. Bu şekilde iki farklı ölçü kullanılarak ve her iki çözünürlükten de en az kayıp ile renklendirilmiş görüntüler elde edilir (Açıkgöz, 2015).

Bu tez çalışmasında ülkemizin ilk yüksek çözünürlüklü uydusu olan Göktürk-1 uydu görüntüleri için en uygun pankeskinleştirme algoritmasının hangisi olduğuna ilişkin bir önerme vermeye çalışılmıştır. Göktürk-1 uydu görüntüleri ile gerçekleştirilen pankeskinleştirme performansının analiz edildiği ilk çalışma olması önem arz etmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Geçmişten günümüze görüntü birleştirme ve pankeskinleştirme konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Uydu teknolojisi ilerledikçe çözünürlükler artmış, yüksek çözünürlüklü gri seviye görüntülerle, düşük çözünürlüklü çok spektrumlu görüntülerin birleştirilmesi yani pankeskinleştirme işlemi için yeni yöntemler araştırılmaya devam etmiştir. Uydular kullanılmaya başlandıkça o uydu için ideal pankeskinleştirme yönteminin hangisi olacağı merak konusu olmaya devam etmiştir. Bu konuda yerli ve yabancı birçok çalışma yapılmıştır.

Açıkgöz (2015), farklı pankeskinleştirme yöntemlerini karşılaştırmış ve en uygun sonuçların HCS ve Opt.HPF yöntemleri ile alındığını gözlemlemiştir. Yapılan tez çalışmasında CPU ve GPU ortamlarında milli yer gözlem uydusu RASAT görüntüleri kullanılarak pankeskinleştirme algoritmaları karşılaştırılmış ve hız analizleri de yapılmıştır. Boyutu büyük olan uydu görüntülerinin GPU'lar ile yüksek hızla işlendiğinde veri işleme kapasitesinin artacağı ortaya konulmuştur.

Kurt (2014), görüntü birleştirme yöntemlerini, modülasyon bazlı, bileşen değişim, çoklu çözünürlük analizi, frekans uzayı analizi ve karma yöntemler olmak üzere beş ana kategoride incelemiştir. Modülasyon bazlı yöntemlerde Brovey dönüşümü, bileşen değişim yöntemlerinde IHS dönüşümü ile CIELAB dönüşümü, çoklu çözünürlük analizinde HFM, frekans uzayı analizinde DFT ve karma yöntemlerde ise IHS dönüşümü + DFT ile CIELAB dönüşümü + DFT yöntemleri ile görüntü birleştirme algoritmalarını incelemiştir. İncelenen her bir yöntem, farklı süzgeç tipleri ve histogram eşleme ile zenginleştirilip çeşitlendirilmiştir.

Abas (2011), farklı iki kaynaktan elde edilen görüntülerin birleştirilmesi amacıyla farklı yöntemler kullanmıştır. (Brovey, IHS, PCA ve Wavelet dönüşümleri) Elde edilen sonuçlar belli matematiksel ölçütlere göre değerlendirilmiştir. PCA, Brovey ve IHS yöntemlerinde görüntünün orijinal renklerinin bozulduğu ve düşük korelasyonlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Rose (2009), Pankeskinleştirme çalışmasında QuickBird uydusuna ait Pankromatik ve MS görüntüleri pankeskinleştirmek suretiyle kıyaslamasını yapmış, pankeskinleştirme işleminin yazılımdaki farklı algoritmalarla yapılması açıklanmış ve kullanım kolaylıklarını ortaya koymuştur.

Abas (2015), görüntü füzyon yöntemlerini QuickBird uydu görüntüleri üzerinde ve matematiksel sonuçlarını da MATLAB programını kullanarak ortaya koymuştur.

Optimizasyon algoritması olan parçacık sürü optimizasyonu füzyon teknikleri için iyi bir sonuç ortaya koymuş ve istatistiksel olarak iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Özendi (2014), Pleiades 1-A görüntülerinin pankeskinleştirme performansını incelemiş, çalışmada MATLAB programı üzerinde geliştirilen SharpQ yazılımı modülü kullanılarak kıyaslaması yapılmıştır. Nicelik olarak Brovey, nitelik olarak IHS algoritmaları ile yapılan görüntülerin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Sümengen (2012), MS ve Pankromatik görüntülerin füzyonunu esas alan pankeskinleştirme yöntemlerini incelemiş, kullanılan algoritmalar içerisinde SFIM metodunu özgün çıkıştırma stratejisi ile iyileştirilerek IKONOS, Geoeye ve Worldview uydu görüntülerini birleştirmiştir.

Abdikan (2017), RASAT uydusuna ait görüntüleri Ehlers, HPF, IHS ve PCA algoritmaları ile pankeskinleştirmiş ve CC, RMSE, ERGAS ve UIQI ölçütleri ile değerlendirmelerini yapmıştır. Pankeskinleştirme sonuçlarına göre Ehlers yöntemi ile yapılan görüntünün en iyi görsel sonucu verdiğini, HPF yöntemi ile yapılan görüntünün ise istatistiksel açıdan en iyi sonucu verdiğini göstermiştir.

Kahraman (2017), RASAT uydusuna ait Mersin, İstanbul ve Sinop görüntülerini 17 farklı algoritma ile pankeskinleştirmiş matematiksel olarak RMSE, CC, SAM, ERGAS, PSNR, SSIM ve UIQI yöntemleri ile sonuçlarını kıyaslamıştır. MTF - GLP - HPM yöntemi ile yapılan görüntünün tüm metriklerde en iyi sonuçları verdiği gözlemlemiştir.

Topan (2016), Pleiades 1-A Zonguldak test alanı görüntüsü üzerinde PCA, IHS ve Brovey algoritmaları ile yapmış olduğu pankeskinleştirme işlemi ormanlık, şehir ve düz alanlarda ayrı ayrı karşılaştırmış ve elde ettiği sonuçları CC, ERGAS, RASE, SAM ve RMSE matematiksel ölçütleri ile incelemiştir. Brovey yönteminin CC, ERGAS ve SAM metriklerinde en iyi sonucu verdiğini, IHS yönteminde ise RMSE ve RASE metriklerinde de başarılı sonuçlar alındığını ifade etmiştir. 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.

Özendi (2016), Göktürk-2 ve RASAT görüntülerini PCA, IHS ve Brovey algoritmaları ile pankeskinleştirmiş ve sonuçları CC, ERGAS, RASE, SAM ve RMSE matematiksel ölçütleri ile incelemiştir.

Gore (2016), QuickBird ve Worldview-3 görüntülerinin pankeskinleştirme performanslarını ayrıntılı bir şekilde incelemiş, QuickBird ve IKONOS uydularında en

iyi sonucun Gram-Schmidt ve UNB olduğundan, uydulara göre farklı algoritmaların görsel ve matematiksel olarak farklı sonuçlar verdiğinden ayrıntılı şekilde bahsetmiştir.

Li (2018), QuickBird IKONOS ve WorldView uydu görüntüleri pankeskinleştirme algoritmalarını gerek matematiksel ölçütler gerekse de görsel açıdan değerlendirmiştir.

Maurer (2013), London Tower köprüsüne ait Worldview-2 görüntüsünün Gram-Schmidt yöntemi ile yapılan pankeskinleştirme performansını incelenmiş ve görüntünün tümünün değil de belli bir bölgesinin hızlı pankeskinleştirmeye ihtiyaç duyulabileceği çalışmalarda bu yöntemin başarılı sonuçlar vereceğini ifade etmiştir.

Atak (2015), Göktürk-2 uydusunun test aşamalarını ve uygulanan test işlemlerini incelemiş ve Göktürk-1 test adımları için yol gösterici olmuştur.

Gürçay (2019), Göktürk-1 uydusuna ait gerçekleştirilen test adımlarını ayrıntılı bir şekilde irdelemiş ve test esnasında uygulanan hesaplamaları ortaya koymuştur.

Teke (2014), RASAT uydu görüntüsü ile yapmış olduğu İstanbul, Trabzon ve Osmancık görüntülerinin pankeskinleştirme performanslarını analiz etmiş, RASAT uydusu görüntülerinin pankeskinleştirilmesinde kullanılacak yöntem olarak haritacılık şehir planlama gibi uygulamalar için HPF yönteminin, daha yüksek doğruluğa sahip tarım ve çevre uygulamaları için HCS yönteminin tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Parente (2017), WorldView-3 uydu görüntüsüne ait Almanya'daki yeşil alan ve Libra şehir alanlarında IHS ve Brovey algortimaları ile yapılan pankeskinleştirme yöntemlerini bant kullanımlarına da değinerek incelemiş, görsel ve matematiksel sonuçlarını ortaya koymuştur.

Basaeed (2013), DubaiSat-1 Dubai görüntüsünde 9 ayrı pankeskinleştirme algoritması ile gerçekleştirilen pankeskinleştirme sonuçlarını görsel olarak incelemiş ve 4 farklı matematiksel ölçüt ile sonuçları analiz etmiştir.

Czaja (2014), Wavelet dönüşümü Landsat-7 uydusuna ait görüntünün farklı bant varyasyonları ile analiz etmiş ve görüntü sonuçlarını incelemiştir.

Snehmani ve ark.(2014), WorldView-3 ve QuickBird uydu görüntüleri için en verimli sonuçların Gram Schmidt ve UNB algoritmalarının uygulanması ile alındığını ancak metrik yöntemlerin, şehir kırsal alan, dağlık ve ormanlık alanlara göre seçilen keskinleştirme metodunun farklı sonuçlar verebildiğini ortaya koymuştur.

Despini (2014), QuickBird uydusuna ait görüntünün çeşitli bant varyasyonlarını ve 10 farklı algoritma ile pankeskinleştirerek elde edilen sonuçları analiz etmiştir.

Özdemir (2017), PC, IHS, Gram-Schmidt, Ehlers ve Yun Zhang yöntemleri ile farklı görüntüleri pankeskinleştirmiş ve görüntüleri nesne yönelimli sınıflandırma açısından değerlendirmiştir.

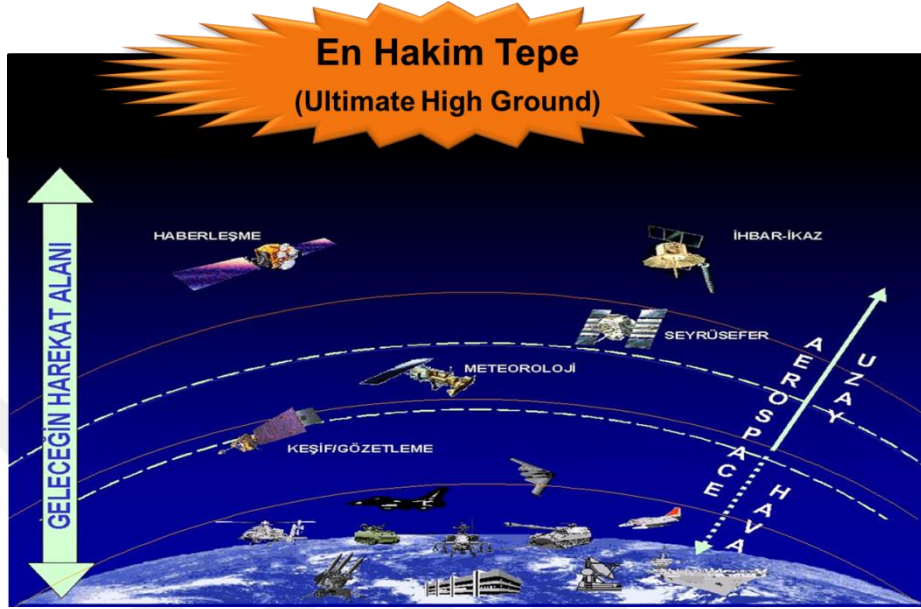
Wang (2002), Görüntü kalite indeksini incelemiş ortalama kalite indeksinin spektral bozulmayı üç etken açısından incelediğini ve bunların; ilinti kaybı, parlaklık bozulması ve karşıtlık bozulması olduğunu ortaya koymuştur.

Sun ve ark. (2014), En yakın komşu difüzyon tabanlı pankeskinleştirme yönteminin hem mekânsal / spektral kalitede hem de hesaplama zamanında üstün performansa sahip olduğunu değerlendirmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Göktürk-1 Uydusu



Şekil 3.1. En hâkim tepe

Uzay, soğuk savaş döneminde sağladığı avantajlar nedeniyle “En Hâkim Tepe” olarak öngörülmüştür.

Günümüzde artık artan teknolojiye paralel olarak uydu teknolojisi de ilerlemiş buna bağlı olarak farklı yörüngelerde bulunan ve birbirinden değişik özelliklere sahip (optik-ısıl-mikrodalga algılayıcılar ve/veya pasif ya da aktif algılayıcı sistemler) birçok uydu sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerle birlikte hava ve yer platformları üzerinde yer alan çeşitli algılayıcı sistemlerin ortak amacı yeryüzüne ait verilerin toplanması, işlenmesi ve çeşitli amaçlarla kullanılabilmesinin sağlanmasıdır. Kısaca coğrafi verilerin elde edilişi uzaktan algılama bilimi içerisinde farklı algılayıcı ve sistemlerle sağlanmaktadır.

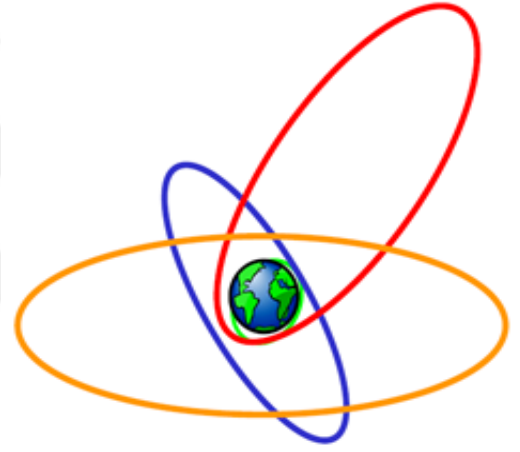
Bu kapsamda En Hâkim Tepeden dünyayı izleyip, keşif / gözetleme yapmak günümüzde ülkelere ayırt edici bir özellik kazandırmaktadır. Kendi keşif gözetleme uydusu olmadan dünya üzerinde bu faaliyetleri gerçekleştirmek ise yüksek maliyetlere ya da zaman / bölge kısıtlamalarına neden olmaktadır. Atmosferde alçak irtifa dünya yörüngesinde keşif/gözetleme uyduları yer almaktadır. Bu yörüngeler Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Yörüngelere ilişkin özellikler Çizelge 3.1’deki çizelgede belirtilmektedir.

Göktürk-1 uydusu da bir keşif gözetleme uydusu olması sebebi ile uzayda alçak irtifada görev yapmaktadır.

GÖKTÜRK-1 Projesinin sözleşmesi, bugünkü adıyla T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayi Başkanlığı ile İtalyan Telespazio S.p.A. firması arasında 2009 yılı Temmuz ayında imzalanmıştır. GÖKTÜRK-1 Uydusunun bazı uçuş bileşenleri de TUSAŞ tarafından üretilmiştir. Uydu, Avrupa Uzay Ajansı'na ait VEGA roketi ile Fransız Guyanası'ndan 05 Aralık 2016 tarihinde TSİ 16.51.44'de fırlatılmış ve yörüngeye başarıyla yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Yörüngelerin özellikleri

Yörüngeler	
* Alçak İrtifa Dünya Yörüngesi (LEO)	
Yükseklik :	100 - 2000 km
Hız :	~8 km/s
Periyod :	~ 100 dk
* Orta İrtifa Dünya Yörüngesi (MEO)	
Yükseklik :	5000-24 000 km (20 500 km GNSS)
Hız :	~ 4 km/s
Periyod :	~ 11 saat 58 dk.
* Yer Sabit Dünya Yörüngesi (GEO)	
Yükseklik :	35 786 km
Hız :	~ 3 km/s
Periyod :	~ 23 saat 56 dk.
* Eliptik Dünya Yörüngesi (HEO/MOLNIYA)	
Yükseklik :	Yeröte 400 km / Yerberi 400 000 km
Hız :	Yeröte 10.1 km/s / Yerberi 1.5 km/s
Periyod :	11 saat 58 dk.

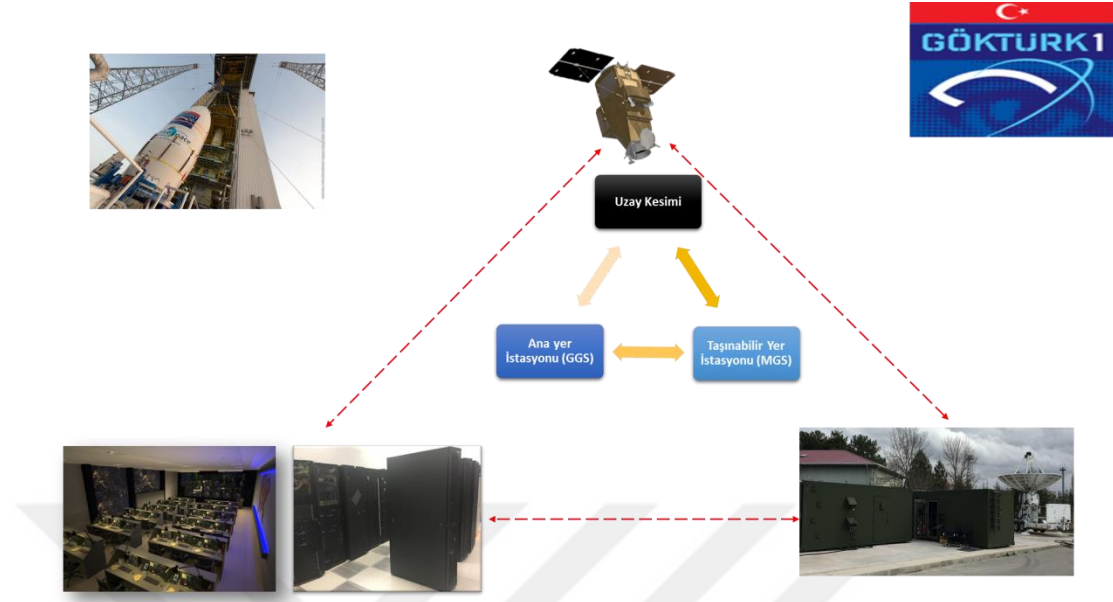


Şekil 3.2. Yörüngeler

Projede yaşanan sorunlar ve uzayan düzeltici işlem süreçleri neticesinde proje takvimi defaten değiştirilmek durumunda kalmıştır. Geline nokta Göktürk-1 sisteminin şartlı nihai kabulü 4 Aralık 2018 tarihinde gerçekleştirilmiş ve resmi olarak tamamen Hv.K.K.lığı kontrolüne geçmiştir.

Göktürk-1 Uydusu sayesinde coğrafi bir kısıta maruz kalmaksızın dünyanın herhangi bir bölgesinden askeri istihbarat amacıyla yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü elde edilecek; bu sayede ormanlık alanların kontrolü sağlanabilecek, kaçak yapılaşmanın önüne geçilebilecek, doğal afetlerden sonra kısa zaman içerisinde hasar tespiti yapılabilecek, tarım için ürün rekolte tespiti ve coğrafi harita verilerinin üretilmesi gibi pek çok faaliyet alanında da görüntü ihtiyacı karşılanabilmektedir. 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 operasyon merkezi, sabit yer istasyonu ve mobil istasyonu Şekil 3.3'tedir.



Şekil 3.3. Göktürk-1 yer istasyonu

3.1.1. Göktürk-1 uydusu teknik özellikleri

Göktürk-1 uydusu nokta, şerit, geniş alan ve stereo görüntüleme modlarında çekim işlemi gerçekleştirebilmektedir. Nokta (spot) görüntüleme işleminde görüntünün genişliği ve uzunluğu 15*15 km, şerit görüntülemeye ise görüntünün genişliği ve uzunluğu en fazla 15*780 km'dir. Göktürk-1 uydusu yörünge istikametine ek olarak doğu-batı ve kuzey-güney istikametinde 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 gerekli zaman ise 2-3 gün arasındadır. Göktürk-1 uydusu biri siyah-beyaz ve dördü multispektral (Red-Green-Blue-Near IR) olmak üzere toplam beş adet bantta görüntüleme yapabilmektedir. Siyah-Beyaz bandın çözünürlüğü 0.5 m iken multispektral bantların (Red, Green, Blue ve Near IR) çözünürlüğü 2.0 m'dir (Gürçay, 2019).

TSK envanterinde Göktürk-1 ve Göktürk-2 olmak üzere iki adet uydusu mevcuttur. İkisi de keşif gözetleme uydusudur. Bu uydular arasındaki fark, PAN bantta Göktürk-1 0,5 m yer örnekleme mesafesine (GSD - Ground Sampling Distance),

Göktürk-2 ise 2,5 m GSD'ye sahip görüntü almaktadır. Diğer teknik özelliklerin kıyaslanabileceği karşılaştırmalı çizelge aşağıda sunulmuştur:

Çizelge 3.2. Göktürk-1 ve Göktürk-2 uydularının teknik özellikleri

Özellikler	Göktürk-1		Göktürk-2	
Yörünge Tipi	Güneş Eşzamanlı		Güneş Eşzamanlı	
Yörünge İrtifası	681 km		660 km	
Eğim Açısı	98,11°		98,2°	
Yörünge Hızı	7,51 km/sn.		7,5 km/sn.	
Periyot	98 dk 11 sn.		98 dk 20 sn.	
Spot Boyutu	15 X 15 km		20 X 20 km	
Şerit Genişliği	15 km		20 km	
Şerit Uzunluğu	780 km (tek geçişte indirebilecek) 14.300 km (azami çekim kabiliyeti)		640 km	
Uydu Kütlesi	1061 kg (yakıt dahil)		409 kg	
GSD (Ground Sampling Distance)	0,5 m PAN – 2 m RGB		2,5 m PAN – 5 m RGB	
Görüntü Kalitesi (NIIRS-NATO Image Interpretability Rating Scale)	NIIRS 5 (PAN)		NIIRS 3 (PAN)	
Radyometrik Çözünürlük	12-Bit		11-Bit	
Konumsal Doğruluk	Ortalama Yatay olarak 10 m (GCP'siz), 2 m (GCP'li) Düşey olarak		Ortalama Yatay olarak 300 m (GCP'siz), 17 m (GCP'li) Düşey olarak	
Uydu (On-Board) Depolama Kapasitesi	192 Gbyte		5,25 Gbyte (3X1,75)	
Yer İstasyonu (Ground Station) Depolama Kapasitesi	6 PByte		12,7 TByte	
Spektral Bantlar	PAN, RGB, NIR		PAN, RGB, NIR	
Günlük Yörünge Sayısı	14-15 (14,7)		14-15 (14,7)	
Ana/Yedek İstasyon	Ana İstasyon	GGs (Ahlatlıbel)	Ana İstasyon	Göktürk-2 Uydu Yer İst. (Ahlatlıbel)
	Yedek İstasyon	MGS (Ahlatlıbel)	Yedek İstasyon	TÜBİTAK Uzay (ODTÜ Yerleşkesi)

Anten Takip Açısı	GGs 5° MGS 10°	Ana İstasyon 0° (Ahlatlıbel) Yedek İstasyon 5° (TÜBİTAK Uzay)
LTAN	10:30	10:30
Haberleşme	X-Band / 620 Mbps	X-Band / 100 Mbps
Bantları / Hızları	S-Band / 1,6 Mbps	S-Band / 2 Mbps
İletişim Konisi Çapı	4600 km	5500 km
İletişim Konisinden Günlük Geçiş Sayısı	4-5	5-6
Görüntüleme Sıklığı	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ yönelme açısıyla)	2-3 gün ($\pm 30^\circ$ yönelme açısıyla)
	11 gün ($\pm 5^\circ$ yönelme açısıyla)	11 gün ($\pm 5^\circ$ yönelme açısıyla)
Tasarım Uydu Ömrü	7 yıl 3 ay	5 yıl
Sözleşme Tarihi	16 Temmuz 2009	13 Nisan 2007
Sözleşme Yürürlük Tarihi	19 Temmuz 2010	01 Mayıs 2007
Yükleniciler	Telespazio S.p.A./ İtalya	TÜBİTAK – TAI
Fırlatma Tarihi	05 Aralık 2016	18 Aralık 2012
Fırlatma Yeri / Aracı	Fransız Guyanası-Kourou Vega SLV	Jiuquan - ÇHC Long March (LM)-2D SLV

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

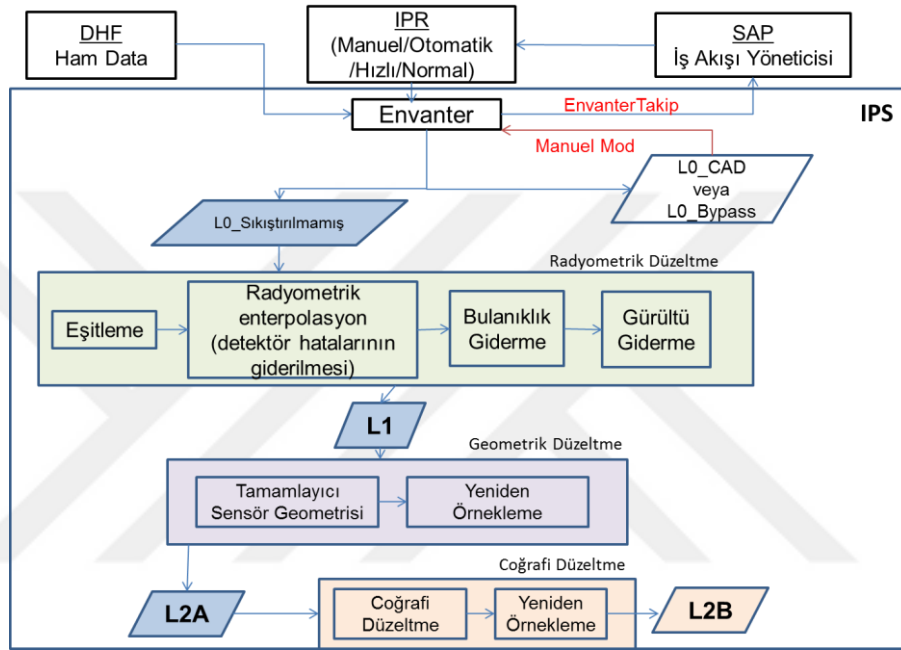
3.1.2. Uydu görüntü seviyeleri

Göktürk-1 uydu görüntülerine yönelik olarak temel ve ileri seviye işlemleri tanımlayan (Seviye 0 - Seviye 6) yedi adet görüntü seviyesi mevcuttur. Göktürk-1 uydusu görüntü seviyeleri;

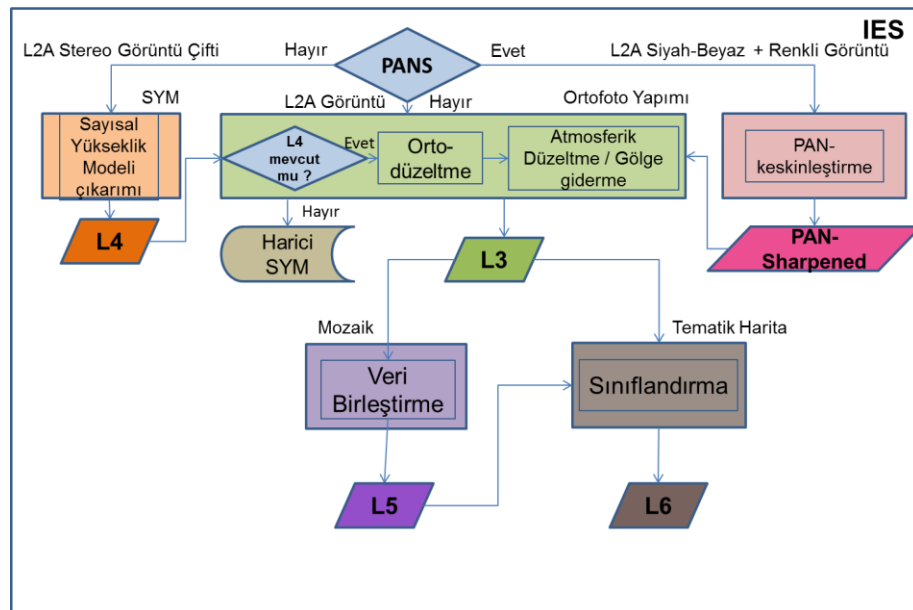
- Seviye 0 (L0) : İşlenmemiş görüntü (Ham Görüntü).
- Seviye 1 (L1) : Radyometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü (detektör hataları, gürültü ve bulanıklık giderme işlemi yapılmış görüntü).
- Seviye 2A (L2A) : Geometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü (dünyanın eğikliğinden ve yöneliminden kaynaklı hataların giderilerek oluşturulan görüntü).
- Seviye 2B (L2B) : L2A seviye görüntüyü düşeye çevirerek (Geo-rectification) 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.



Şekil 3.4. Temel seviye görüntü işleme adımları



Şekil 3.5. İleri seviye görüntü işleme adımları

3.1.3. Uydu görüntü testleri

Bütün uydular fırlatıldıktan sonra bir takım testlere tabi tutulmaktadır. Dolayısı ile daha önceden yerde test edilen sistemlerin sıcaklık, nem ve atmosfer koşullarının farklı olduğu uzayda da çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesi amacıyla Göktürk-1 uydusu da birtakım testlere tabi tutulmuştur. Yörünge testleri süreci uydunun fırlatılması ile başlayıp; uydunun yörüngeye yerleştirilmesi, yer sistemlerinin kontrolü, faydalı yükün kontrolü, iletişim bantlarının kontrolü, veri işleme ve kalibrasyon ile değerlendirme faaliyetlerini kapsar (Gürçay, 2019).

Uydu güneş panellerinin açılmasından sonra uydunun konumu ve faydalı yük ile alt sistemlerin durumunu öğrenmek amacıyla uydunun telemetri bağlantıları kontrolleri yapıldıktan sonra kalibrasyon faaliyetlerinin bir parçası olan ay yüzeyine ve yıldızlara gözlem yapılır. Uyduların tarama genişlikleri de ayrıca test edilerek kontrol edilir. Sonrasında uydunun görüntüleme işlemleri ve veri işleme çalışmalarına yönelik kontroller başlar. Bu aşamada yer gözlem uydularında iki iletişim bandı kullanılır. Uyduya manevra komutunu göndermek ve uydu sağlık bilgilerini almak için S-Band, görüntü verilerinin alınması için de X-Band kullanılır. Yer istasyonlarına inen görüntüler veri işleme birimleri tarafından işlenir ve arşive kaydedilir (Atak, 2015). Bu aşamada uydunun yer istasyonu ile iletişime geçtiği (iletişim konisi) andaki yer istasyonu ile uydu arasındaki açı kontrol edilir. Uydular belirli açılardaki enlemlerden sonra görüntü alamadığından bu değerler de kontrol edilmektedir. Örneğin Göktürk-1 uydusu 88° kuzey ve 88° güney enlemleri dışında görüntü alamamaktadır.

Tüm bu işlemler sonunda sonuç ürün olan görüntünün kontrolü yapılır. Görüntü kontrolleri yapılırken veri işleme istasyonlarının bir günde işleyebilecekleri maksimum spot görüntü sayısı ve bir spot görüntünün işlenmesi için gereken süre gibi sistem performans değerleri de kontrol edilir. Görüntünün kontrolünde ise görüntünün radyometrik ve geometrik doğrulukları incelenir. Radyometrik doğrulukta; görüntünün keskinliği, blurlaşması, gürültü oranı kontrol edilirken geometrik doğrulukta ise; görüntü üzerinde seçilen bir noktanın dünya üzerindeki gerçek konumundan ne kadar saptığı, görüntünün tarama genişliği ve yer örnekleme mesafesi gibi hususlar kontrol edilir.

Uydu görüntü işleme çalışmalarında karşılaşılan hatalar, sistematik ve sistematik olmayan hatalar şeklinde iki sınıfta değerlendirilebilir. Sistematik hatalar; Tarama Eğikliği, Tarama Hızındaki Değişimler, Panoramik Bozulma, Platform Hızı, Yer

Dönmesi, Yer Küreselliği şeklinde sıralanabilirken sistematik olmayan hatalar ise Yükseklik ve Durum Değişimleri olarak ifade edilebilir.

Bu testler bittikten sonra çıkan sonuçlar uydu fırlatılmadan önce yapılan testlerdeki sonuçlarla karşılaştırılır. Çıkan sonuçların farklılık göstermesi durumunda değerlerin düzeltilmesi için kalibrasyon faaliyetlerine geçilir. Bu kapsamda Göktürk-1 Uydusu için yapılan testler aşağıdaki anlatıldığı gibi uygulanmıştır;

Göktürk-1 Uydu Yörünge Testleri,

- a. Uçtan Uca Fonksiyonel (End To End - E2E) Testler;
 - 1) Yer İstasyonunda Yapılan Testler,
 - 2) Acil Planlama Testleri,
 - 3) Ana Yer İstasyonu ve Mobil Yer İstasyonunun Eş Zamanlı Çalışma Testleri,
 - 4) Ana Yer İstasyonu ve Mobil Yer İstasyonu Uzak Kullanıcı Testleri,
 - 5) Yörünge Manevra Testleri,
 - 6) Hızlı ve Nominal Görüntü Çekimi ve İndirme Testleri,
 - 7) Planlı/Plansız Ana ve Mobil Yer İstasyonu Görev Değişimi Testleri,
 - 8) Şifreleme ve Şifre Çözme (Kripto) Testleri,
- b. Yörünge Platform Testleri (BUS In Orbit Tests - BUS IOT) Testleri;
 - 1) S-Band ve Kripto Testleri,
 - 2) Uydu Komuta Kontrol Testleri,
 - 3) Alt Sistem ve Yedek Ekipman Fonksiyonel Testleri,
 - ç. Alt Sistem Güç Testleri,
 - 4) Birleşik İtici Alt Sistem Testleri,
 - 5) Temel Alt Sistem Testleri,
- c. Kalibrasyon/Doğrulama (Calibration/Validation-CAL/VAL) Testleri;
 - 1) Kara Akım Kalibrasyon Testi,
 - 2) Eşitleme Parametrelerinin Kalibrasyonu ve Doğrulaması Testi,
 - 3) Aykırı Piksellerin Tespiti Testi,
 - 4) Elektro Optik Faydalı Yüklün Yeniden Odaklanma Testi,
 - 5) Gürültü Model Kalibrasyonu Testi,
 - 6) Gürültü Sinyal Oranı (Signal to Noise Ratio – SNR) Testi,
 - 7) Modüler Transfer Fonksiyonu (Modular Transfer Function) Testi,
 - 8) Yersel Örnekleme Mesafesi Testi,
 - 9) Konumlama Testi,

- 10) Tarama Genişliği Testi,
- 11) Genel Görüntü Kalite Denklemi & Ulusal Görüntü Uygunluk Derece Ölçüsü (General Image Quality Equation – GIQE & National Imagery Interpretability Rating Scale – NIIRS) Değeri Hesaplaması Testlerinden oluşmaktadır.

3.2. Görüntü Birleştirme

Görüntü birleştirme, aynı bölgeye ait farklı özelliklere sahip görüntülerin birleştirilerek, o bölgeye ait tek bir görüntünün elde edilmesi işlemidir. Bir başka deyişle, farklı özelliklere sahip aynı bölgeye ait görüntüler içinden en az iki tanesi kullanılmak şartıyla, her bir görüntünün sahip olduğu karakteristik özelliklerinin birleştirilmesi ile daha fazla bilgiye sahip iyileştirilmiş/geliştirilmiş görüntü elde etme işlemidir. Görüntü birleştirmede, yüksek derecede mekânsal çözünürlüğe sahip pankromatik görüntünün detay bilgisini ve düşük derecede mekânsal çözünürlüğe sahip çok bantlı renkli görüntünün renk bilgisini birleştirerek yüksek derece mekânsal çözünürlüğe sahip renkli görüntü oluşturulabileceği gibi farklı uydu görüntülerinin birleştirilmesi suretiyle de yeni bir görüntü elde edilebilmektedir.

Görüntü füzyonu olarak da adlandırılan görüntü birleştirmenin temeli görüntünün içerdiği bilgilerin kalitesini artırmasıdır. Görüntü birleştirme teknik ve uygulamalarının amacı yeni bir görüntü üretilmesi ve yüksek çözünürlüklü renkli ya da gri seviye görüntü sağlayabilmesidir (Kurt, 2014).

Görüntü birleştirme, bir alanın görünümünü zenginleştirmek ve ayrıntıların seçimini kolaylaştırmak için ilgilenilen alana ait iki veya daha çok sayıda görüntüde yer alan bilgileri birleştirme işlemidir. Aynı zamanda görüntü keskinleştirme olarak adlandırılır (Abas, 2011).

Günümüzde metodoloji ve kullanım amacı açısından birçok görüntü füzyon tekniği geliştirilmiştir. Bu tekniklerde farklı matematiksel metotlar ya da temel bileşen olarak farklı bantlardaki görüntüler seçilerek değişik sonuçlar elde edilmiştir.

3.3. Görüntü Keskinleştirme (Pankeskinleştirme-Pansharpening)

Literatürde; görüntü birleştirme, image-fusion “pansharpening” olarak isimlendirilir; çünkü füzyon işleminde, siyah-beyaz yani PAN görüntüde yer alan

detaylar, çok bantlı görüntüyü detaylandırmak yani keskinleştirmek için kullanılmaktadır. Bu işlem bir takım algoritmalar yardımı ile yapılır ve çok bantlı görüntünün çözünürlüğü artırılırken, renk bilgisi korunmaya çalışılır (Abas, 2011).

Pankeskinleştirme yöntemleri; görüntü birleştirme, çözünürlük birleştirme ve çoklu algılayıcı veri birleştirme olarak adlandırılmaktadır. Uydular üzerlerindeki algılayıcılardan farklı mekânsal, radyometrik ve spektral çözünürlükteki coğrafi bilgiler alınmaktadır. Ürün anlamında çoğu zaman tek bir görüntüye ihtiyaç duyulmasından dolayı farklı bantlardaki görüntüler birleştirilmektedir. Uzaktan algılama alanında yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip görüntüler ve spektral çözünürlüğü yüksek görüntülerle daha verimli çalışmalara ulaşılmaktadır (Açıkgöz, 2015).

Bir pankeskinleştirilmiş görüntü, yüksek spektral çözünürlüğü ve mekânsal çözünürlüğü içinde barındıran multispektral ve pankromatik görüntüler arasındaki sensör füzyonunu temsil eder. Pankeskinleştirme işleminin temel nedeni budur. Çok spektrumlu görüntü, birden fazla spektral bant içeren bir görüntüdür. Bu nedenle topraktan yansıyan ışığı farklı spektral bantlara ayırabilen bir sensörden oluşur. Renkli görüntü, üç bant içeren çok bölümlü bir görüntünün çok basit bir örneğidir. Bu durumda, bantlar elektromanyetik spektrumun mavi, yeşil ve kırmızı dalga boyu bantlarına karşılık gelir.



Yüksek çözünürlüklü PAN görüntü



Düşük çözünürlüklü MS görüntü



Pankeskinleştirilmiş görüntü

Şekil 3.6. Pankeskinleştirilmiş görüntü (12 Mayıs 2019 Geoeye-1)

Göktürk-1 uydu kamerasında 5 farklı dalga boyundaki ışığı algılayabilen optik sensörler bulunmaktadır. PAN (Pankromatik) bant siyah/beyaz ve gri tonlardan oluşan ışığı algılar. RGB (Red, Green, Blue) görünür banttaki ışığın kırmızı, yeşil ve mavi renklerini temsil eden frekans aralığındaki ışığı algılar. NIR (Near Infra-Red) bant, gözle görülemeyen yakın kızılötesi ışığı algılar. Bu sensörler aşağıdaki tabloda belirtilen dalga boylarında algılama yapabilmektedir.

Çizelge 3.3. Göktürk-1 bant aralıkları

Band		Radiometry range (min)	Radiometry range (max)
Pankromatik		450 nm	845 nm
Blue (B0) (Mavi)		435 nm	554 nm
Green (B1) (Yeşil)		493 nm	607 nm
Red (B2) (Kırmızı)		606 nm	717 nm
Near Infrared (B3) (Yakın Kızıl Ötesi)		691 nm	933 nm

3.4. Görüntü Keskinleştirme Yöntemleri

Literatürde görüntü birleştirme için kullanılan farklı görüntü birleştirme algoritmaları mevcuttur. Bu çalışma kapsamında Göktürk-1 uydusuna ait PAN ve MS Ankara görüntüsü 4 farklı görüntü birleştirme yazılımında (programda) yaklaşık 11 farklı yöntemle birleştirilmiştir. Ortaya çıkan birleştirme sonuçları çeşitli matematiksel kalite ölçütleri kullanılarak analiz edilmiştir.

3.4.1. Brovey yöntemi

Brovey dönüşümü, uygulamada sıkça karşılaştığımız basit bir birleştirme yöntemidir. Dönüşüm, renklilik dönüşümünü esas alan bir yöntem olup çok spektrumlu görüntünün parlaklık bilgisinin PAN görüntü ile modüle edilerek çok spektrumlu görüntüye uygulanmasına esas alan bir yöntemdir. Yöntem pankromatik görüntünün mekânsal detaylarını birleştirmek için modülasyon oranını kullanmaktadır. Bu yöntem görüntü üzerindeki detaylarda yer alan farkların gözle algılanmasının önem kazandığı çalışmalarda daha yaygın kullanılmaktadır (Abas A. , 2015).

$$\text{---} \quad (3.1)$$

$$\text{---} \quad (3.2)$$

$$\text{---} \quad (3.3)$$

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

İşlemler sırasında piksel değerleri değiştiğinden çok bantlı spektral özelliklerin ele alındığı çalışmalarda bu yöntem güvenilir sonuçlar vermez (Abas A. İ., 2011).

$$\text{---} \quad (3.4)$$

$$(3.5)$$

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

3.4.2. Yoğunluk renk doyumu (IHS) 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).

Çok spektrumlu görüntünün her bir bandındaki görüntü pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilir ve bu bantlar IHS renk uzayına dönüştürülür. Daha sonra pankromatik görüntüye histogram eşitlemesi işlemi yapılır. Düşük mekânsal çözünürlüklü yoğunluk bandı ile yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik bandın yerleri değiştirilir ve bu görüntü tekrar RGB renk uzayına dönüştürülür (Kurt, 2014).

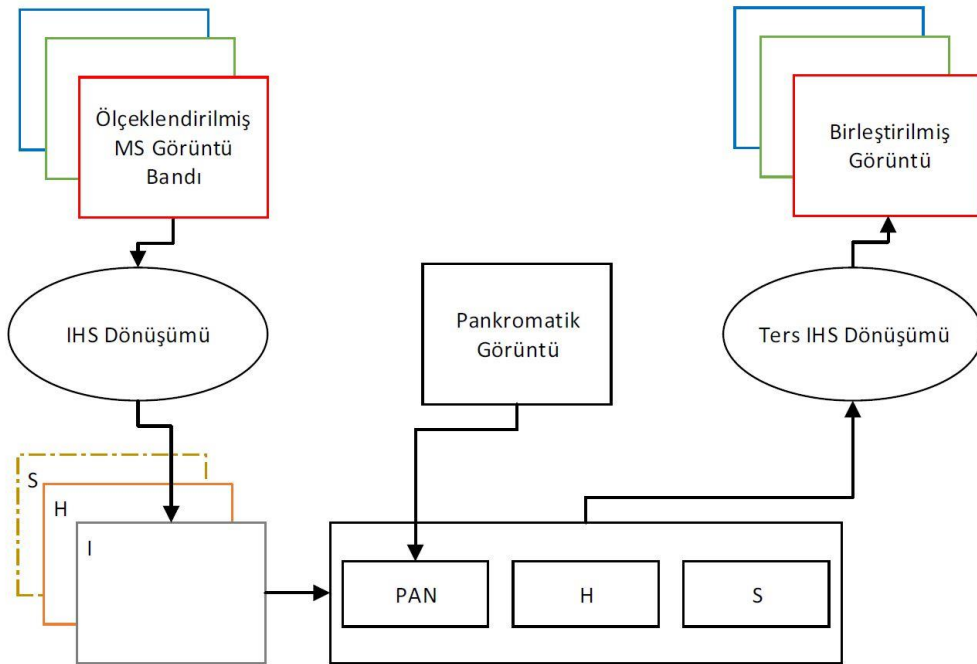
$$\begin{bmatrix} I \\ H \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{2\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_R \\ M_G \\ M_B \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$M_{R,G,B}$ çok spektrumlu görüntüdeki bantların PAN bandına göre ölçeklendirilmiş hallerini ifade etmektedir. Yukarıda verilen denklemden IHS renk uzayındaki I yoğunluk matrisi hesaplanır.

Pankromatik görüntü, çok spektrumlu görüntünün ortalamasına ve varyansına göre yeniden ölçeklendirilir.

$$\begin{bmatrix} PS_R \\ PS_G \\ PS_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_R + P - I \\ M_G + P - I \\ M_B + P - I \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Çok spektrumlu 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 3.7. ile gösterilmiştir.



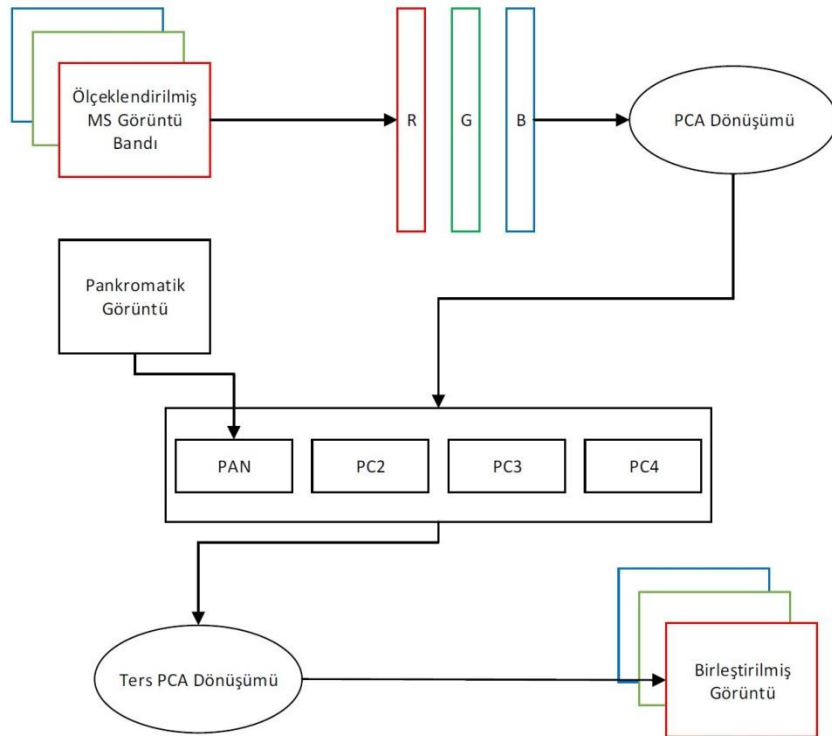
Şekil 3.7. IHS yöntemi diyagramı

3.4.3. Temel birleşen analizi (PCA) yöntemi

Temel birleşen 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.

Bu yöntem çok spektrumlu görüntüye mekânsal detayı enjekte etmek için kullanılan bir yöntemdir, bu sayede yüksek mekânsal detay birleştirilmiş görüntüye aktarılırken spektral bilgi korunamadığından renk korunması anlamında iyi sonuçlar verememektedir (Teke, 2014).

Çok spektrumlu görüntülerin 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.



Şekil 3.8. PCA yöntemi diyagramı

Ana bileşen eşitlikleri;

$$\begin{bmatrix} PC1 \\ PC2 \\ PC3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/4 & 1/2 & -1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Ters dönüşüm ise;

$$\begin{bmatrix} R_{yeni} \\ G_{yeni} \\ B_{yeni} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2/3 \\ 1 & 0 & 4/3 \\ 1 & -1 & -2/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Pan \\ PC2 \\ PC3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 + \delta' \\ G_0 + \delta' \\ B_0 + \delta' \end{bmatrix}, \delta' = PAN - PC1 \quad (3.9)$$

PC1 ilk temel bileşen bilginin çoğunu içerir. Pankromatik bant ilk temel bileşen yerine koyulur. Pankromatik görüntü ile yer değiştirildikten sonra ters temel bileşen dönüşümü uygulanarak görüntü önceki görüntüye çevrilerek işlem tamamlanır (Açıkgöz, 2015).

3.4.4. Hiperküre renk uzayı (HCS) yöntemi

Hiperküre renk uzayı yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntem ilk olarak WolrdView-2 uydusunun 8 adet spektral banda sahip görüntülerini pankeskinleştirmek için geliştirilmiştir. 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.

$$\text{_____} \quad (3.10)$$

$$\begin{array}{c} \text{_____} \\ \text{_____} \end{array} \quad (3.11)$$

$$\text{_____} \quad (3.12)$$

$$\begin{array}{c} \text{_____} \\ \text{_____} \end{array} \quad (3.13)$$

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

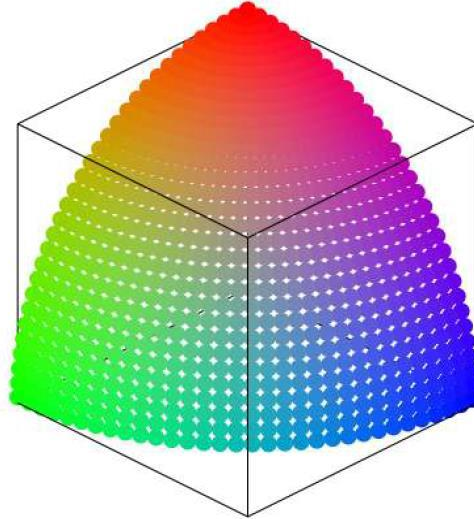
$$(3.14)$$

$$(3.15)$$

$$(3.16)$$

$$(3.17)$$

Hiperküre renk uzayına dönüşümde açılar ton ve renk değerlerini ifade etmektedir. 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 3.9. da HCS renk uzayı küresel düzlemde gösterilmiştir.



Şekil 3.9. HCS renk uzayı

RGB renk uzayından HCS ortamına dönüştürüldüğünde θ_1 ve θ_2 açılarının fonksiyonları verilen şekildeki gibi bir grafik oluşturmaktadır. Verilen grafik kürenin pozitif oktantındadır. Tüm renk bileşenleri pozitif olduğundan, HCS ortamının açısal bileşenleri gözlemlendiğinde $(\theta_1, \theta_2) = (0, 0)$ konumunda kırmızı rengi, θ_1 açısı 90 derece doğrultusunda değiştiğinde rengin yeşile doğru kaydığı ve θ_2 açısı 90 derece doğrultusunda değiştiğinde RGB renk uzayındaki yeşil-mavi eksenine kaydığı görülmektedir. Yoğunluk değeri ise kürenin orijin noktasına olan uzaklığı ifade

etmektedir. HCS dönüşümü kullanarak görüntü birleştirmek için öncelikle MS görüntünün ve Pankromatik görüntünün ortalaması ile standart sapmalarının hesaplanması gerekir.

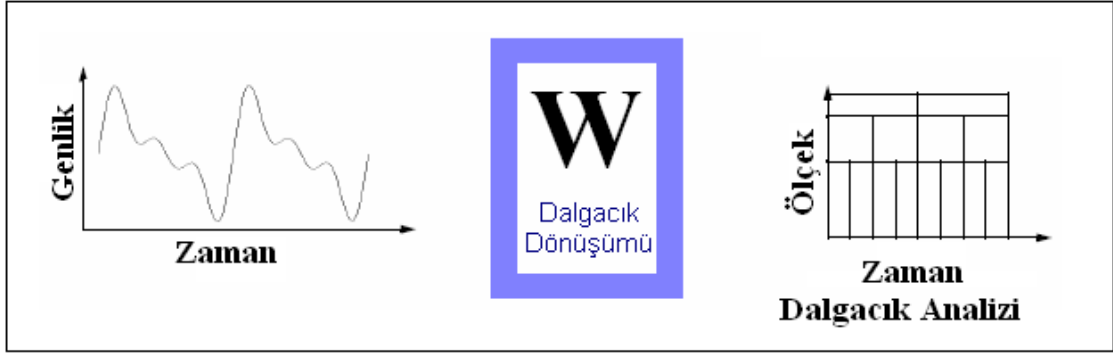
pankromatik bant kullanılarak keskinleştirilmiş yoğunluk bilgisini ifade etmektedir. Bulunan değerler doğrultusunda daha önce verilen RGB renk uzayına dönüşüm için kullanılan geri dönüşüm formülleri kullanılır. Bu formüllerde G matrisi yerine G matrisi kullanır ve böylece birleştirilmiş ve mekânsal çözünürlüğü artırılmış renkli görüntünün bantları elde edilmiş olur. Elde edilen bantlar RGB renk uzayında temsil edilecek şekilde birleştirildiğinde birleştirilmiş görüntü elde edilir.

3.4.5. Dalgacık dönüşümü yöntemi

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

Bu dönüşüm yöntemi sinyallerin zaman-frekans gösterimi için kullanılan metrik bir dönüşüm metodudur. Jeofizikten kuantum fiziğine, mühendislikte sinyal işlemeden biyomedikal sinyal işlemeye kadar geçmişten günümüze birçok bilim dalında kullanılmıştır. Günümüzde sayısal görüntülerin işlenmesinde başta görüntü birleştirme ve görüntü sıkıştırma olmak üzere radar ve deprem tahmini gibi birçok dalgacık dönüşüm algoritması geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar sayesinde dalgacık dönüşümleri görüntü birleştirme alanının çok yakından ilgilendiği bir alan olmuştur (Abas A. İ., 2011).

Burada sinyal spektrumları iki eşit parçaya bölmektedir. Bu parçalar alçak geçiren kısım ile yüksek geçiren kısımdır. Yüksek geçiren bölüm en küçük detaylara kadar ayrıntıları kapsarken diğer bölüm daha az ayrıntıları içermektedir. Bu yöntem ile bir filtre bankası oluşturulur (Abas A. , 2015).



Şekil 3.10. 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 çok spektrumlu görüntüde de aynı işlem uygulanarak dalgacık dönüşümü yapılır. Çok spektrumlu görüntünün dalgacık katsayıları ile PAN görüntüden elde edilen dalgacık dönüşüm katsayıları yer değiştirilir ve ters dalgacık dönüşümü görüntüye uygulanır ve bu sayede çözünürlüğü yüksek renkli görüntü elde edilir (Sümengen, 2012).

3.4.6. Yüksek geçirgenli filtreleme (HPF) yöntemi

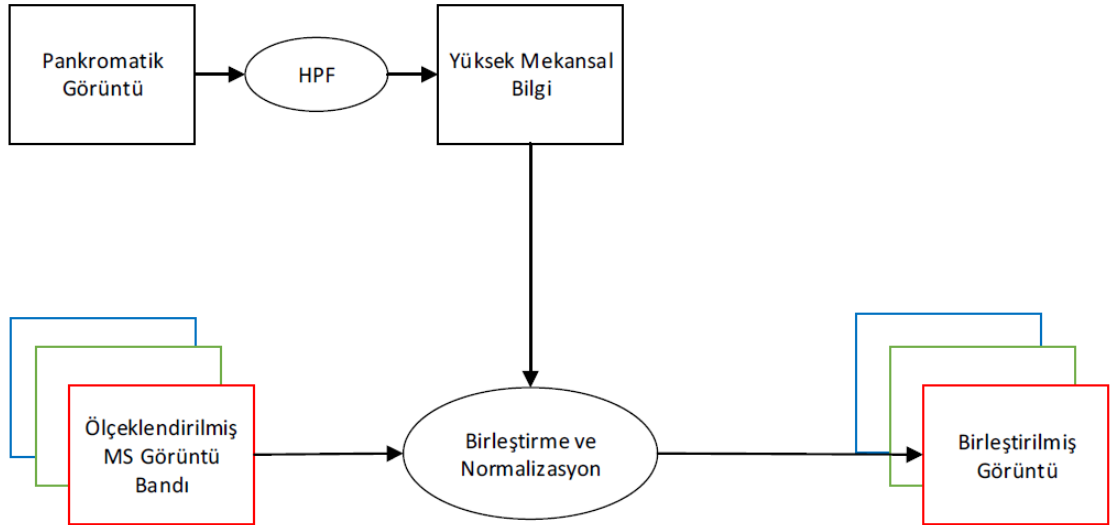
High Pass Filter-HPF yönteminde, çok spektrumlu ve PAN görüntülere oranları ölçüsünde filtreler seçilerek (9X9, 7X7 veya 5X5) görüntüye uygulanır. Uygulanan filtrede ortadaki değer hariç diğer değerler -1, ortasındaki değer ise toplamı 0 yapmaya yetecek şekilde seçilir. Örneğin Çizelge 3.4’de gösterildiği gibi 5x5 boyutunda filtrenin orta değeri 24 olarak alınır.

Çizelge 3.4. 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 değeri elde edilmiş ve tüm bantlara uygulanması suretiyle de çözünürlük artırılmış olur. PAN bant ile çok spektrumlu bant arasındaki oran “ r ” olarak alınır ise filtre boyutu “ $2r+1$ ” olacaktır ki bu da Göktürk-1 uydur görüntüleri için 9×9 boyutlarında bir filtre uygulanması gerektiği anlamına gelir. Pankromatik bantta yüksek geçiren süzgeçten geçirilerek elde edilen görüntünün çok spektrumlu 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.

Çok spektrumlu görüntüler pankromatik görüntüye göre ölçeklendirildikten sonra seçilmiş olan filtre ile keskin görüntü elde edilir. Çok spektrumlu görüntüdeki bantlara göre elde edilen oran kullanılarak süzgeçten geçirilmiş görüntü normalize edilir. Ardından elde edilen görüntü ile çok spektrumlu görüntüdeki ölçeklendirilmiş bantlar birleştirilir. Ortaya çıkan renkli görüntü, orijinal çok spektrumlu görüntü ile standart sapması ve ortalaması eşitlenecek şekilde tekrar normalize edilir ve yüksek mekânsal çözünürlüklü renkli görüntü elde edilir. İşlem adımlarına ilişkin şema Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. HPF yöntemi blok diyagramı

3.4.7. Gram-Schmidt yöntemi

Gram-Schmidt yönteminde, IHS ve temel birleşen analizi yöntemlerinden farklı olarak tüm bantlara uygulanır ve çok spektrumlu görüntünün örnekleme yapılması suretiyle değil de çok spektrumlu görüntülerin ortalamasına göre PAN görüntünün

çözünürlüğünün simüle edilmesi suretiyle elde edilen düşük çözünürlüklü PAN görüntünün ilk bant olarak kullanılmasından yola çıkılarak işlemlere başlanır.

(3.18)

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

3.4.8. Renk doyum değeri (HSV) yöntemi

Bu yöntemde de IHS yönteminde olduğu gibi yoğunluk renk doygunluk uzayı yerine renk doyum değeri uzayı kullanılır. Çok spektrumlu görüntüdeki bantlar HSV renk uzayına dönüştürüldükten sonra pankromatik bandındaki yüksek mekânsal görüntü ile birleştirilip keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

$$H = \cos^{-1} \frac{\frac{1}{2} [(M_R - M_G) + (M_R - M_B)]}{\sqrt{(M_R - M_G)^2 + (M_R - M_B)(M_G - M_B)}} \quad (3.19)$$

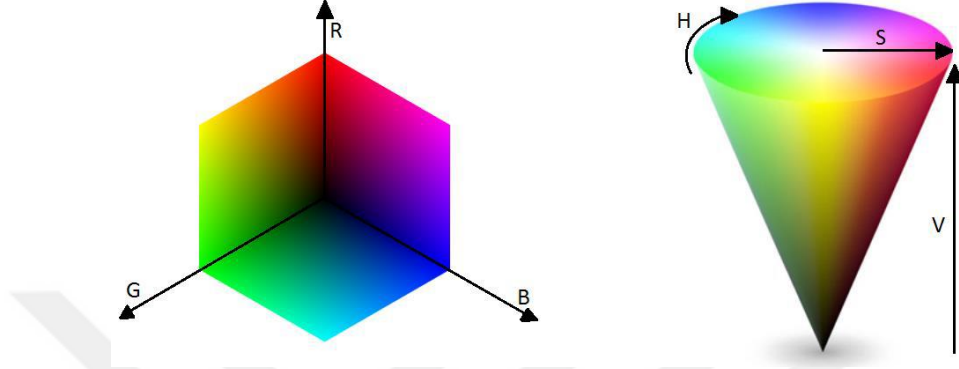
$$S = 1 - \frac{3}{M_R + M_G + M_B} [\min(M_R, M_G, M_B)] \quad (3.20)$$

$$V = \frac{1}{3} (M_R + M_G + M_B) \quad (3.21)$$

$_{R,G,B}$ ölçeklendirilmiş çok spektrumlu görüntüdeki bantları ifade etmektedir. 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.

$$\begin{bmatrix} PS_R \\ PS_G \\ PS_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,577 & -0,408 & -0,707 \\ 0,577 & -0,408 & 0,816 \\ 0,577 & 0,816 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ S \\ P \end{bmatrix} \quad (3.22)$$



Şekil 3.12. RGB ve HSV renk-uzay grafikleri

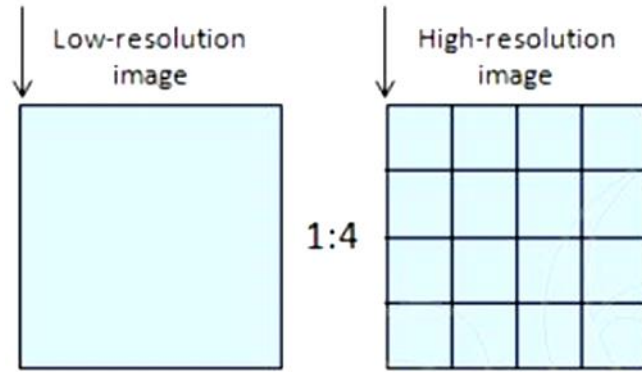
Şekil 3.12. de görülen 3 eksenli renk uzayı koni biçimdeki HSV renk uzayına dönüştürüldüğünde koni yüksekliği rengin değerini temsil etmektedir. Bu değer yerine pankromatik görüntüden alınan değer yazılır ve böylece yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmiş olur.

3.4.9. En yakın komşu difüzyon (NNDiffuse) yöntemi

Özellikle görsel değerlendirme dışındaki uygulamalar için radyometrik doğruluğun korunmasında zorluklar ortaya çıkmaktadır. Spektral değer korunurken mekânsal özellikleri geliştirmek amacıyla en yakın komşu difüzyona dayanan hızlı bir pankeskinleştirme işlemi ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde pankeskinleştirilmiş görüntüdeki her piksel spektrumunun, hemen komşu süper piksellerinin spektrumlarının ağırlıklı bir doğrusal karışımı olduğu varsayılır. Yöntemde belirgin mekânsal ve spektral özelliklerin korunabildiği gösterilmiştir (Sun ve ark., 2014).

Düşük çözünürlüklü görüntülerin piksel boyutu, yüksek çözünürlüklü görüntünün piksel boyutunun tam katı olmalıdır. Bu algoritmayı uygulamak için gerekirse yeniden örneklemek suretiyle görüntülerin aynı projeksiyonda ve piksellerin aynı hizada olması sağlanmalıdır. Şekil 3.13.'de gösterilen hizalama işleminde iki

görüntü arasındaki fark yarım piksel kadar az olduğunda, pankeskinleştirme doğruluğu etkilenir.



Şekil 3.13. Görüntülerin hizalanması

NNDiffuse Pankeskinleştirme işleminde öncelikle düşük çözünürlüklü görüntü seçilir ve düşük ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin tarama oranını tanımlamak için Piksel boyutu oranı kullanılır. NNDiffuse pankeskinleştirme algoritması, piksel boyut oranının bir tamsayı olmasını gerektirir. Örneğin, Ikonos uydu görüntüsünde düşük çözünürlüklü çok çözünürlüklü bantların piksel boyutu 4 metredir ve Ikonos görüntüsünün yüksek çözünürlüklü PAN bandının piksel boyutu 1 metredir. Oran 4 / 1'dir, bu nedenle değer 4'tür. NNDiffuse pankeskinleştirme algoritmasının yoğunluk düzgünlüğü faktörünü (σ) tanımlar. Daha küçük bir değer difüzyonu kısıtlar ve daha net görüntüler üretir, ancak daha fazla gürültüye sahip olur. Örneğin, görselleştirme için kullanılacak pankeskinleştirilmiş görüntüler için daha küçük bir değer iyidir. Daha büyük bir değer, sınıflandırma ve segmentasyon amaçları için kullanılacak görüntüler için önerilir.

$$(x,y) = \min [N_j (x,y)] \quad j = 1,2,\dots,9, \quad (3.23)$$

burada , aşağıdaki denklemlerle verilen dokuz komşunun fark faktörüdür:

$$N_j(x,y) = \sum_{(p,q) \in \Omega_j(x,y)} |P(x,y) - P(p,q)| \quad j = 1, 2, \dots, 9, \quad (3.24)$$

burada (x, y) , komşu dokuz süper piksellerin her biri için difüzyon bölgesini tanımlar ve (x, y) yüksek çözünürlüklü koordinattaki bir pikselin konumunu belirtir. Fark

faktörünün temel fikri, PAN banttaki ilgili pikselin farkını komşu süper piksellerin her birine yansıtmaktır. Fark faktörleri, bir farkın toplamını karşılaştırarak ilgilenilen pikselin dokuz süper pikseli ile benzerliğini tahmin eder.

3.4.10. ESRI yöntemi

ESRI pankeskinleştirme yönteminde, pankeskinleştirilmiş görüntü oluşturmak için bir ağırlıklı ortalama (AO) ve ek yakın-kızılötesi bandı (opsiyonel) kullanır. Ağırlıklı ortalamanın sonucu, daha sonra çıktı değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bir ayar değeri (A) oluşturmak için kullanılır. Örneğin:

$$A = PAN - AO$$

$$\text{Kırmızı Çıktı} = R + A$$

$$\text{Yeşil Çıktı} = G + A \quad (3.25)$$

$$\text{Mavi Çıktı} = B + A$$

$$\text{Kızıl Ötesi Çıktı} = I + A$$

Çok spektrumlu bantların ağırlıkları, spektral duyarlılık eğrilerinin pankromatik bant ile örtüşmesine bağlıdır. Ağırlıklar görecelidir ve kullanıldıklarında normalleştirilecektir. Pankromatik bant ile en büyük örtüşmeye sahip olan çok spektrumlu bant en büyük ağırlığı almalıdır. Pankromatik bantla hiç örtüşmeyen spektral bant, 0 ağırlığa sahip olmalıdır. Kızılötesine yakın ağırlık değerini değiştirerek, yeşil çıktı az çok canlı hale getirilebilir.

ESRI pankeskinleştirme yöntemi için 0.166, 0.167, 0.167, 0.5 (R, G, B, I) ağırlık değerlerinin, QuickBird görüntüleri kullanılırken iyi sonuçlar verdiği ESRI firması tarafından test edilmiştir.

3.5. Görüntü Birleştirme İçin Kullanılan Yazılımlar

Günümüzde ticari olarak kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi ya da görüntü işleme yazılımlarının tamamında pankeskinleştirme algoritmaları vardır. Bunlardan bazıları tek bir algoritma olabileceği gibi bazılarında birden çok dönüşüm algoritmasının yazılıma kombine edilmiş şekilde kullanılmakta ve bu şekilde daha iyi sonuçlar vermesi

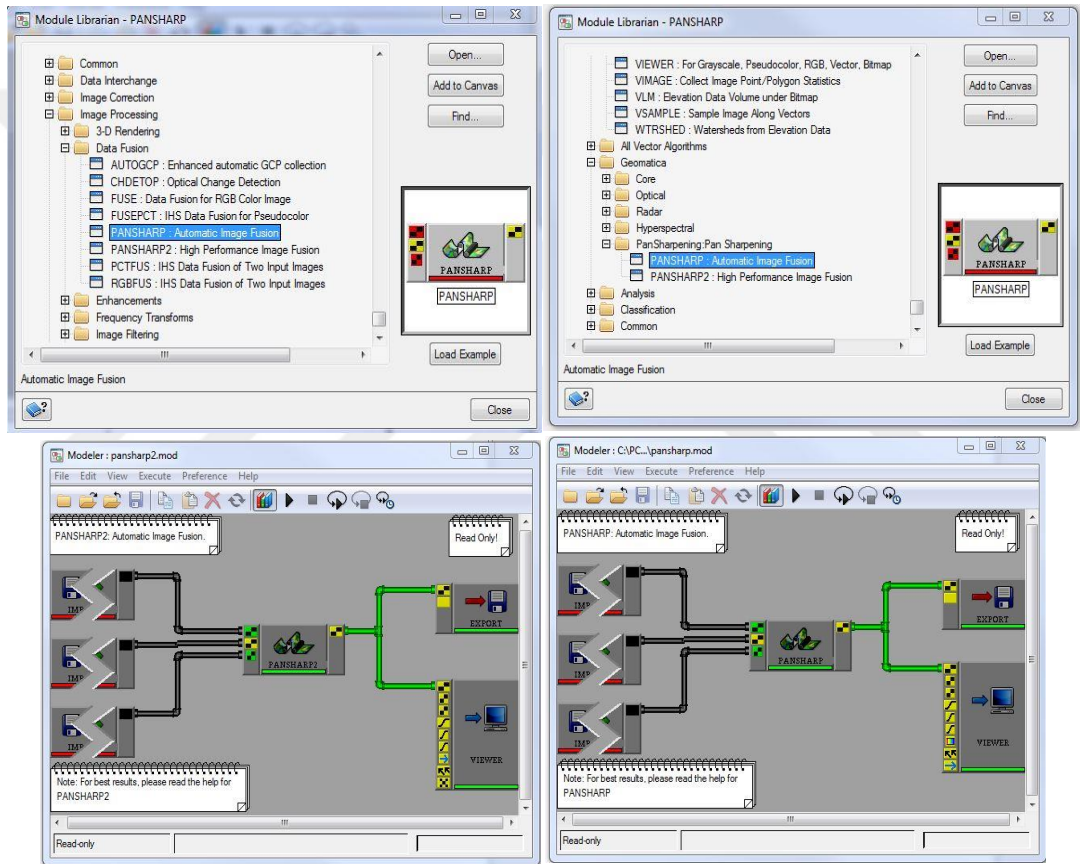
sağlanmaktadır. Örneğin New Brunswick Üniversitesi, Jeodezi ve Geomatik Mühendisliği Bölümü (University of New Brunswick - UNB), Kanada’da Dr. Yun Zhang tarafından yapılan birçok çalışma ile UNB algoritması geliştirilmiş PCI programına tanıtılmıştır. Çalışmamızda kullandığımız PCI 2018, ERDAS Imagine 2018 ve Envi 5.5 yazılımlarında da çok sayıda pankeskinleştirme algoritması mevcuttur. Bu algoritmalar tek bir algoritma olabileceği gibi bazı uydu görüntülerinin bazı yazılımlarda, farklı algoritmalarla değişik sonuçlar verdiği literatürde yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur (Gore, 2016). Buna ilişkin tarafımızdan yapılan bir derleme Ek-1’de sunulmuştur.

Diğer taraftan yukarıda sözünü ettiğimiz ticari firmalarda kendi yaptıkları çalışmalar sonucunda farklı amaçlarla yapılan pankeskinleştirme işlemlerinde 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, Ayhan (2014) “İkonos uydu görüntülerinin pankeskinleştirme işlemi sonucunda yapılan görsel değerlendirmelerinde, konumsal doğruluk açısından ve spektral açıdan en iyi sonuçların Mod-IHS dönüşüm yöntemlerinden elde edildiğini” ifade etmiştir. Hâlihazırda kullanılan yazılımlardan PCI ve ERDAS yazılımları Göktürk-1 uydu görüntülerinin metadata bilgileri sistemlerine tanıtmışlar, ENVI ve ESRI firmaları tarafından da Göktürk-1 uydu görüntülerinin sistemlerine tanıtılma işlemleri devam etmektedir. Dünya genelinde kullanılan bu programlara tanıtılması ile ilerleyen dönemde ticarileştirme faaliyetleri tamamlanacak olan Göktürk-1 uydu görüntülerinin uluslararası alanda da kullanılması beklenmektedir.

Bu ticari algoritmaların dışında ARGE Projesi olarak Görüntü Analizi ve Otomatik Hedef Algılama amacı başlatılan, yerli ve milli bir yazılım olarak geliştirilen HASAT yazılımı içerisinde de 3 farklı pankeskinleştirme algoritması mevcuttur. Bu çalışmada ticari yazılımların yanı sıra HASAT yazılımı da kullanılarak değerlendirmelere dâhil edilmiştir.

3.5.1. Ticari yazılımlar (PCI, ENVI ve Erdas Imagine)

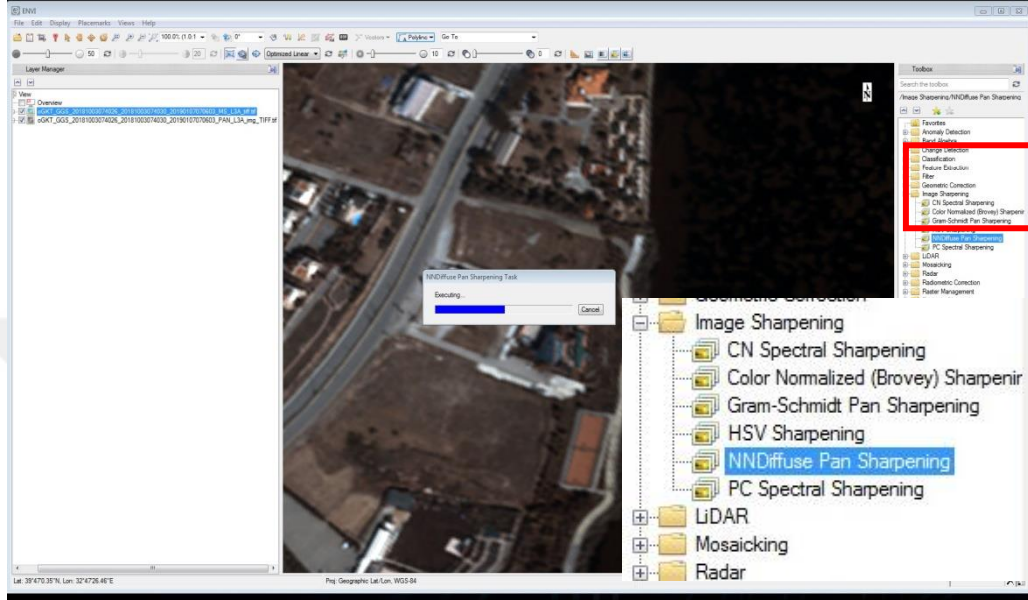
Bu tez çalışması kapsamında 3 farklı ticari yazılım kullanılmıştır. Bu yazılımlardan ilki PCI olup bu yazılımının 2018 versiyonu kullanılmıştır. Bu yazılımda seçime bağlı 2 farklı pansharp modülü bulunmaktadır. PCI tarafından önerilen ve bu çalışmada kullanılan “Pansharp” modülü ekran görüntüleri Şekil 3.14.’te gösterilmektedir. Bu çalışmada PANSHARP2 (UNB) algoritması kullanılmış olup bu modül New Brunswick Üniversitesi, Prof. Dr. Yun Zhang tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma, IHS ve Wavelet dönüşümlerini kullanmaktadır.



Şekil 3.14. PCI 2018 paneskinleştirme sekmeleri

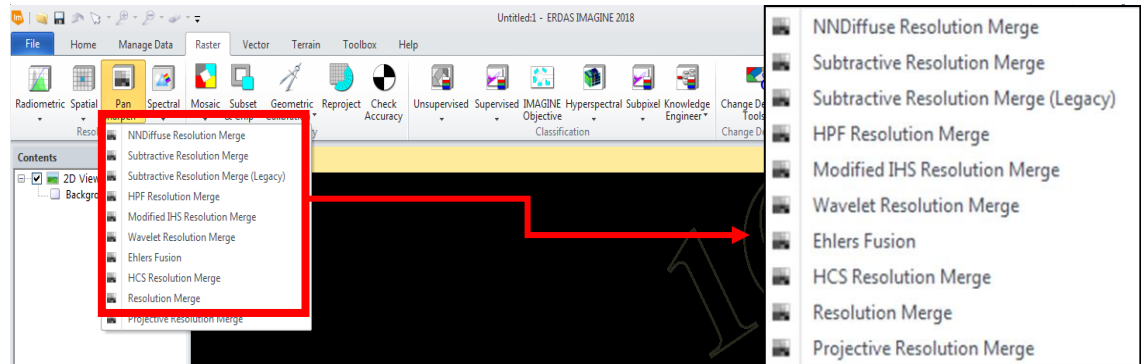
Bu çalışmada kullanılan ikinci ticari yazılım ise ENVI 5.5’dir. ENVI yazılımında 6 farklı Pankeskinleştirme algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalarından NNDiffuse, HSV ve Gram Schmidt algoritmaları kullanılmıştır. ENVI 5.5 yazılımına ait örnek bir Pankeskinleştirme sekmelerine (NNDiffuse) ilişkin görüntü Şekil 3.15.’te sunulmuştur. ENVI tarafından yardım menüsünde, Pleiades ve Worldview gibi RPC tabanlı uydu görüntüleri için NNDiffuse veya SPEAR paneskinleştirme modüllerinin

kullanılmasının daha uygun olacağını, Gram-Schmidt yönteminin PC yöntemine göre daha yüksek doğruluklu sonuçlar vereceği ve Gram-Schmidt yöntemi ile pankeskinleştirilmiş görüntünün PC Spectral Pansharpening yöntemi ile pankeskinleştirilmiş görüntüye göre karşılaştırıldığında aralarında görsel farklılıkların çok az olacağı ifade edilmektedir.



Şekil 3.15. ENVI 5.5. pankeskinleştirme sekmeleri

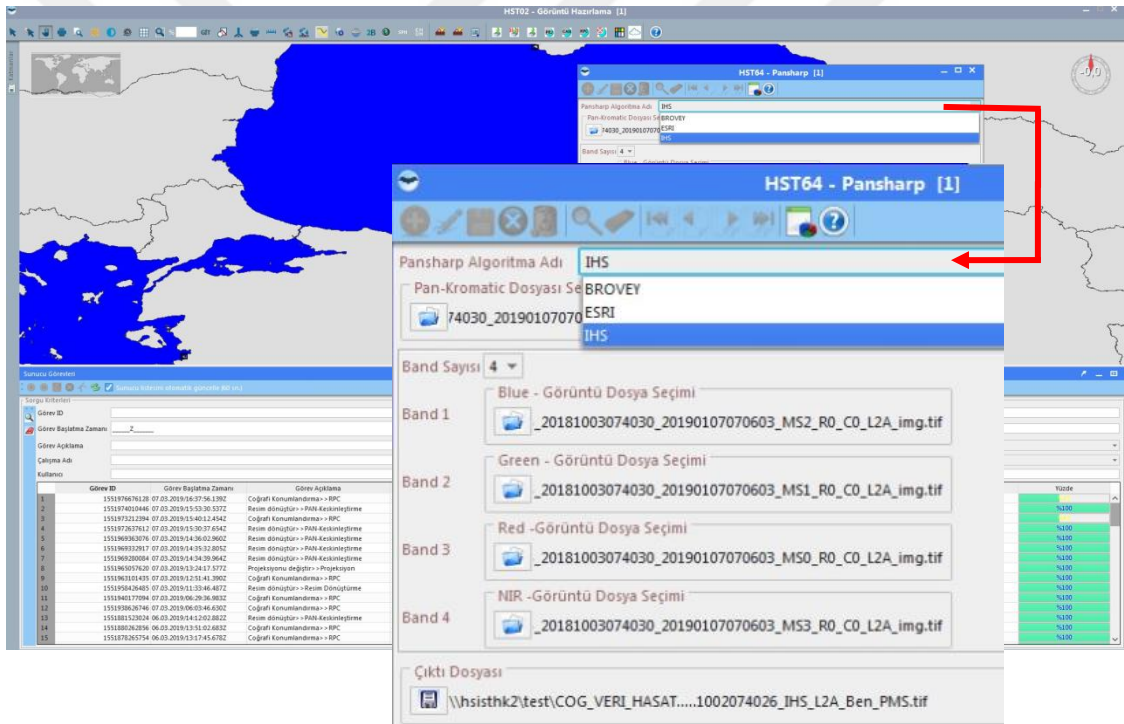
Bu tez kapsamında kullanılan üçüncü ticari yazılım ERDAS IMAGINE 2018'dir. Bu yazılımda da 10 farklı Pankeskinleştirme algoritması bulunmaktadır. Bu yazılıma ait Pankeskinleştirme modüllerine ilişkin ekran görüntüsü Şekil 3.16.'da sunulmuştur. ERDAS yazılımı da uygulamada diğer uydu görüntülerinin yanı sıra Göktürk-1 uydu görüntülerini de pankeskinleştirmek için yoğun şekilde kullanılan yazılımlardan birisidir. Bu çalışma kapsamında pankeskinleştirme algoritmalarından HPF, HCS, IHS, PCA ve Wavelet dönüşümleri kullanılmıştır.



Şekil 3.16. ERDAS IMAGINE 2018 pankeskinleştirme modülleri

3.5.2. HASAT yazılımı

Hava araçlarından (uydu, insanlı/insansız uçak vb.) 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 HAVELSAN, ASELSAN, SDT ve ODTÜ tarafından bir araştırma, geliştirme projesi kapsamında başlatılan ve milli bir yazılım olan Görüntü Analizi ve Otomatik Hedef Tanıma (HASAT) yazılımı ile de 3 farklı yöntemle pankeskinleştirme yapmak mümkündür. HASAT yazılımına ilişkin pankeskinleştirme modüllerinin ekran görüntüsü Şekil 3.17’de sunulmuştur.



Şekil 3.17. HASAT pankeskinleştirme modülleri

Piyasada bulunan ticari yazılımlarla zaman-etkinlik açısından tam anlamı ile boy ölçüşemeyen bir yazılım olsa da bu yazılım yerli ve milli olması ve Göktürk-1 uydu görüntülerini işleyebilmesi açısından önem arz etmektedir. HASAT yazılımında ortofoto, pankeskinleştirme ve mozaik gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca milli bir yazılım olduğundan ilerleyen yıllarda envantere girebilecek farklı uyduların sisteme tanıtılması suretiyle farklı uydu görüntülerinin işlenebilmesi sağlanabilecektir.

3.6. Görüntü Birleştirme İçin 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.

Pankeşkinleştirme 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 net ya da ne kadar iyi olduğu değerlendirmeyi yapan şahıstan şahısa farklılık gösterebilmektedir. Hatta görüntülerin 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 görüntüsü, kalitesi hesaplanacak olan görüntü olarak ise Göktürk-1 PAN ve MS görüntülerinin görüntü birleştirme yöntemleri uygulanarak elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüsü kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler yaygın olarak kullanılan 5 adet matematiksel ölçüt ile değerlendirilmiştir.

3.6.1. ERGAS (Boyutsuz Global Göreceli Sentez Hatası)

Bu yöntem karesel ortalama hatanın pankromatik ve çok spektrumlu görüntü çözünürlüklerinin oranının da hesaba katılmasıyla türetilmiş olup denklem (3.26) ile ifade edilmiştir. Bu ölçüt, Pankeskinleştirilmiş görüntüdeki bant değerlerinin yüksek çözünürlükten düşük çözünürlüğe geçerken ki kalitesini ölçer. Burada referans değer “0”dır. ERGAS sonucu elde edilen değerler ne kadar küçük ise yani sıfıra ne kadar yaklaşır ise o kadar başarılı sayılır ve diğerlerine göre küçük çıkan daha kaliteli pankeskinleştirilmiş olarak değerlendirilir.

$$- - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I_{ij} - I_{ref})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ref}^2} \quad (3.26)$$

Burada; n bant sayısını,

RMSE karesel ortalama hatayı,

$\frac{h}{l}$ ise PAN görüntüdeki piksel değerlerinin MS görüntüdeki piksel değerlere oranını,
() ise . bandın ortalamasını ifade etmektedir.

3.6.2. RMSE (Karesel Ortalama Hata)

Karesel Ortalama Hata çok spektrumlu görüntü ile pankeskinleştirilmiş görüntü arasındaki farklarının karelerinin ortalama hatasını temel alan ölçüttür. Bu hesaplama sonucunda elde edilen değerler ne kadar küçük olursa birleştirme kalitesi o kadar başarılı olmuş demektir. Mühendislik bilimlerinde yaygın olarak kullanılan karesel ortalama hata 0'a ne kadar yakın çıkarsa aslında yapılan işlem o kadar doğru anlamına gelmektedir. Yöntemin matematiksel ifadesi (3.27) ile ifade edilmektedir.

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - Y_{ij})^2}{n \cdot m} \quad (3.27)$$

Denklemden yer alan ifadelerden;

“X”, MS görüntüyü,

“Y”, pankeskinleştirme işlemi sonrasında elde edilen görüntüyü,

“x” piksel indeksini

“i” bant numarasını göstermektedir.

Bölen kısımda ise;

satır sayısı “n” ile,

sütun sayısı “m” ile

bant sayısı “d” ile ifade edilmektedir.

Bu oran MS görüntü ve pankeskinleştirilmiş görüntü arasında ne kadar hata olduğunu gösterir. Pankeskinleştirilmiş görüntüdeki spektral ve mekânsal kaliteyi inceler. Referans değer “0” olması beklenmektedir.

3.6.3. CC (Korelasyon Katsayısı)

Bu ölçüt, bağıllık katsayısı olarak da adlandırılır.

$\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ sırasıyla MS görüntü ve pankeskinleştirilmiş

görüntülerin ortalamasını ifade etmektedir. Bu eşitlik iki görüntü arasındaki bağıllık katsayısını ifade eder. Referans değer olarak “1” alınmaktadır. Elde edilen pankeskinleştirmiş görüntü değerlerinin çok bantlı görüntüye göre hesaplanmış değerleri bire ne kadar yakın ise o kadar başarılıdır.

$$\frac{\sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})(J_i - \bar{J})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2 \sum_{i=1}^N (J_i - \bar{J})^2}}$$

3.6.4. RASE (Göreceli Ortalama Spektral Hata)

Bu ölçüt, karesel ortalama hata yönteminden türetilmiştir. Bu ölçütün matematiksel büyüklüğü (3.29) eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$RASE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (I_{ij} - J_{ij})^2} \quad (3.29)$$

Bu ifadede (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. RMSE değerlerinin her bir spektral bant için ortalama başarı değerlerini ölçer. RASE değeri sıfıra ne kadar yakın olursa bantların kalitesi o kadar yüksek olur.

3.6.5. QAVE (Universal Image Quality Index)

Bu ölçüt, Q-ave yani Q-average - Ortalama Kalite olarak da adlandırılır. Spektral bozulmayı üç etken açısından inceler. Bu etkenler ilinti kaybı, parlaklık bozulması ve kontrast bozulmasıdır. Bu metrik sonucunun bire yakın olması idealdir (Wang, 2002).

$$\mathbf{I} = [I_1, I_2, \dots, I_M]$$

$\mathbf{I} = \{ I_i | i=1,2,\dots, M \}$ ve $\mathbf{J} = \{ J_i | i=1,2,\dots, M \}$ sırasıyla MS ve birleştirilmiş görüntü vektörlerini ifade etmektedir (Açıkgöz, 2015).

$$QAVE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (I_{ij} - J_{ij})^2 \right)^{1/2} \quad (3.31)$$

$$\text{---} \quad (3.32)$$

$$\text{---} \quad (3.33)$$

$$\text{---} \quad (3.34)$$

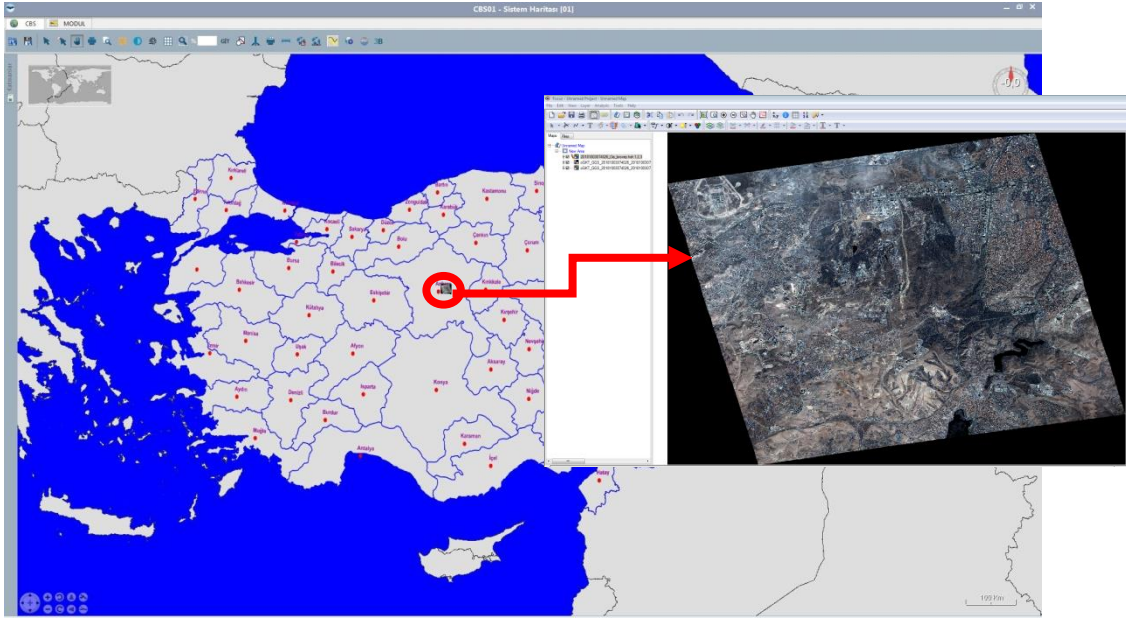
UIQI metriği bir başka deyişle görüntüdeki korelasyon kaybının, parlaklık değişiminin ve kontrast değişiminin birleştirilmiş modeli olarak tanımlanmıştır. Yüksek UIQI değeri yüksek spektral bilgiyi gösterir ve 1'e yakın değer alır (Abdikan, 2017).



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Test Alanı ve Görüntü Özellikleri

Bu çalışma kapsamında kullanılan uydu görüntüsü 03/Ekim/2018 tarihinde saat 07:40'da 21.72 derecelik açı ile Göktürk-1 uydusu ile çekilmiş olan 15km*15km Ankara bölgesine ait spot bir görüntüdür. Görüntü 7/Ocak/2019 tarihinde temel seviyede (yani ham olan Seviye-0'dan Seviye-2A seviyesine çıkarılmış) işlenmiştir.



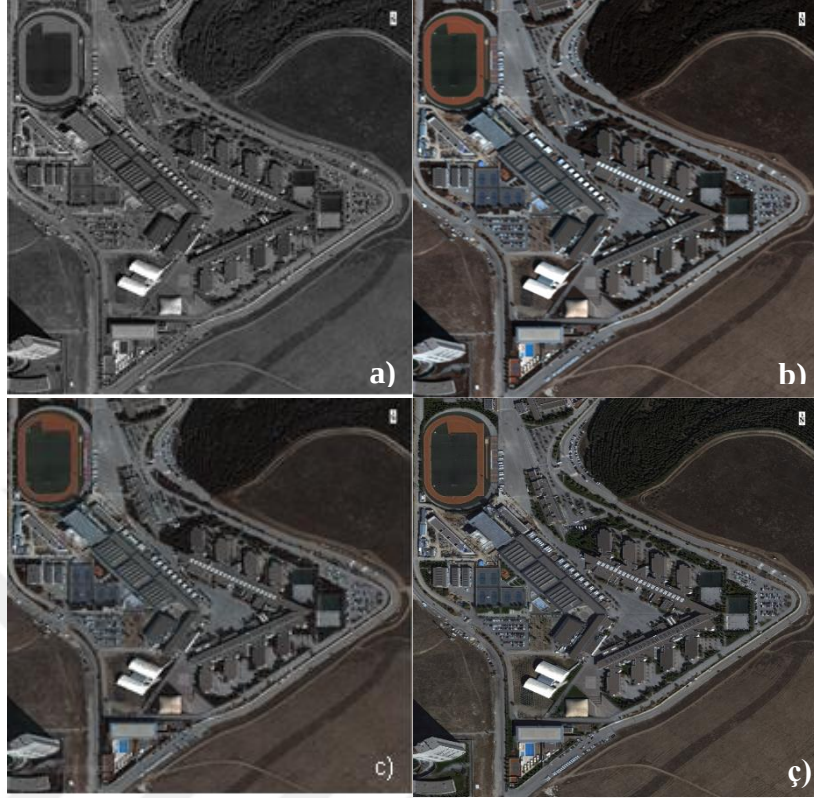
Şekil 4.1. Uydu görüntüsü genel görünümü

Tez çalışması kapsamında kullanılan 15km*15km lik görüntünün tamamına pankeskinleştirme işlemi yapılmıştır. Dolayısı ile bu kadar büyük boyutlu verilerle işlem yapıldığından analizler hem zaman almış hem de yazılımın koşturulması işlemleri tamamlamada donanımlar zorlanmıştır. Tüm işlemlerde görüntünün tamamı kullanıldığı için hem verileri depolamada hem de kıyaslama işlemlerinde oldukça zorluklarla karşılaşmıştır.

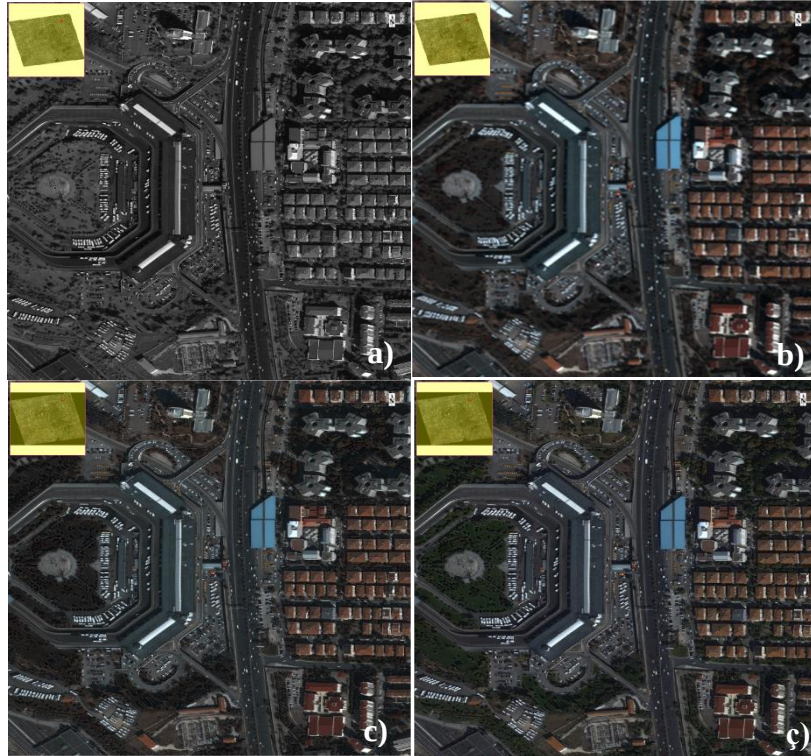
4.2. Görüntü Birleştirme İşlemleri

Pankeskinleştirme yöntemleri denenmeye başlanmadan önce görsel açıdan neler yapılabileceği incelenmek istenmiştir. Bugüne kadar çalışmış olduğumuz Göktürk-1 uydusuna ait pankeskinleştirme işlemlerinden elde ettiğimiz tecrübelerle dayanarak,

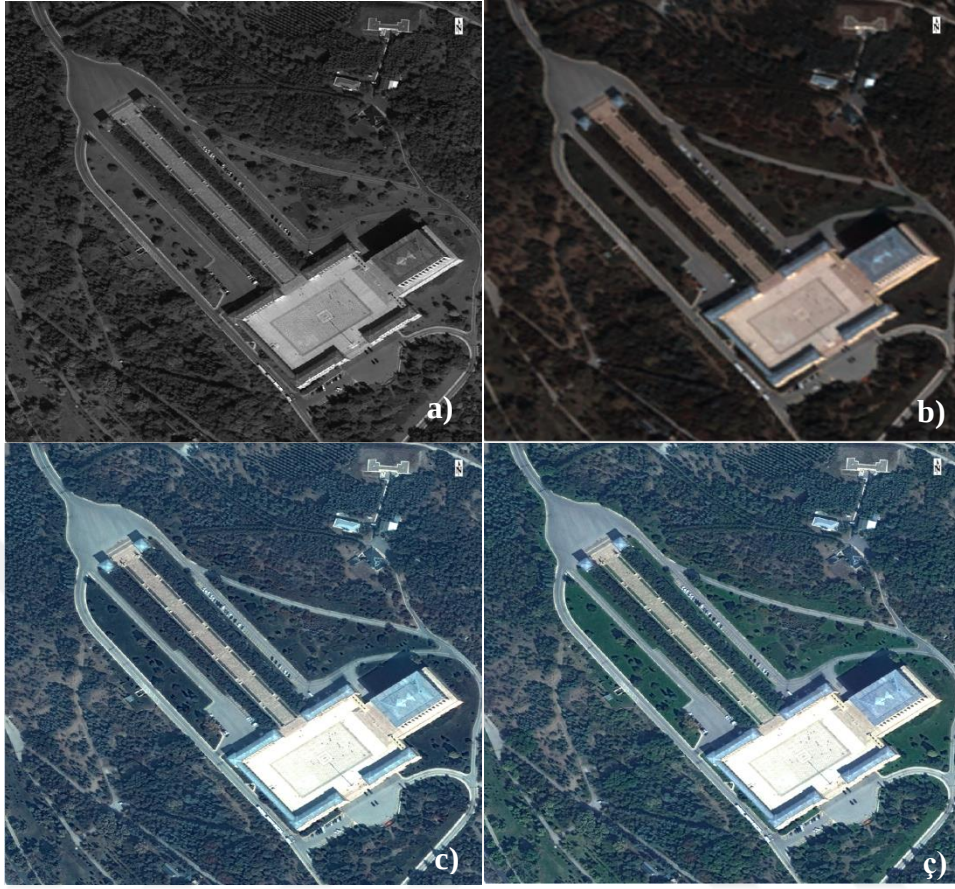
ERDAS IMAGINE programında Projective Resolution Merge algoritması ile pankeskinleştirilmiş görüntüye özel bir filtre (spectral mixer) işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4.2. a) PAN b) MS c) Pankeskinleştirilmiş görüntü ç) Spectral mixer uygulanmış görüntü



Şekil 4.3. a) PAN b) MS c) Pankeskinleştirilmiş görüntü ç) Spectral mixer uygulanmış görüntü



Şekil 4.4. a) PAN b) MS c) Pankeskinleştirilmiş görüntü ç) Spectral mixer uygulanmış görüntü

Çalışma kapsamında seçilen görüntüler Ankara TED Koleji (Şekil 4.2), AŞTİ (Şekil 4.3) ve Anıtkabir (Şekil 4.4) bölgesine ait görüntülerdir. Bu bölgeler meskûn alanda yer almakta olup aynı zamanda görsellerde yeşil tonları da analiz edebileceğimiz yeşil alan ile binaların birleştiği Anıtkabir bölgesi ve tamamen meskûn alanda yer alan AŞTİ bölgesi tercih edilmiştir.

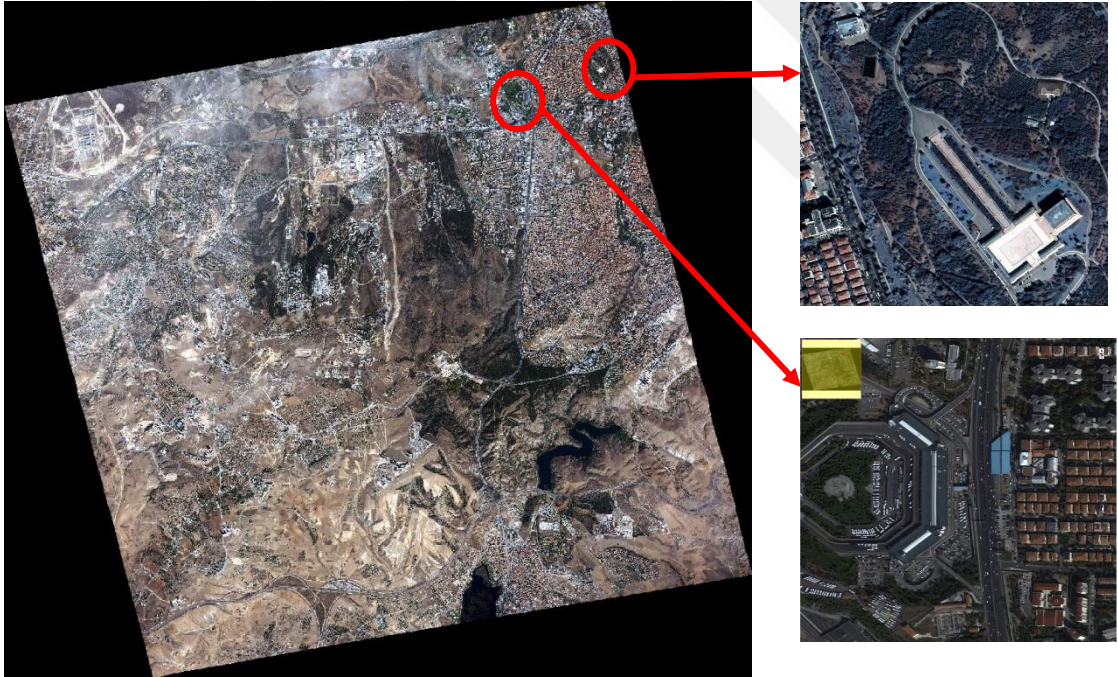
Eğer pankeskinleştirme işlemlerinde algoritma doğru çalışmış ve düzgün bir pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilmiş ise Şekil 4.4’de de görüldüğü üzere farklı filtreler uygulamak suretiyle görüntüler görsel olarak güzelleştirilebilir. Burada önemli olan husus, görüntünün kapladığı alanın özelliğine göre (örneğin görüntünüz deniz, baraj, göl kapsayabilir veya kumsal, çöl ya da ormanlık alan, şehir içi binalık alan vs. oluşabilir) doğru görüntü filtrelerini doğru görüntülere uygulamaktır (Rahaman, 2017).

4.3. Elde Edilen Sonuçlar

Daha öncede bahsedildiği üzere tez çalışması kapsamında HASAT, ENVI, ERDAS IMAGINE ve PCI 2018 yazılımlarının içerisinde bulunan bazı pankeskinleştirme metotları kullanılmış, hepsinden elde edilen sonuçlar görsel ve metrik olarak analiz edilmiştir. Pankeskinleştirme işlemleri uydu görüntüsünün bir bölümü üzerinde değil tümü (15km*15km) üzerinde sürdürülmüş, küçük kesitler üzerinde gösterilmeye çalışılmıştır. Görsel ve metrik olarak iki kısımda incelenmeye çalışılmıştır.

4.3.1. Görsel sonuçlar

Görsel sonuçların gösterimi için Şekil 4.5’de görüleceği üzere Anıtkabir bölgesi ve AŞTİ bölgesi kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Görüntünün tamamı ve görsel olarak kullanılan alanlar

Pankeskinleştirme sonucunda Anıtkabir bölgesine ilişkin görüntüler Şekil 4.6’da sunulmuştur. Burada pankromatik ve çok spektrumlu görüntülerle birlikte toplamda 11 farklı yöntem ile pankeskinleştirilmiş görüntü gösterilmektedir. Bazı görüntüler

diğerlerinden kötü ya da çok iyi olarak gözlemlenebilirken bazı görüntülerde algoritmaların benzer olmasından dolayı haliyle benzer şekilde algılanabilmektedir.







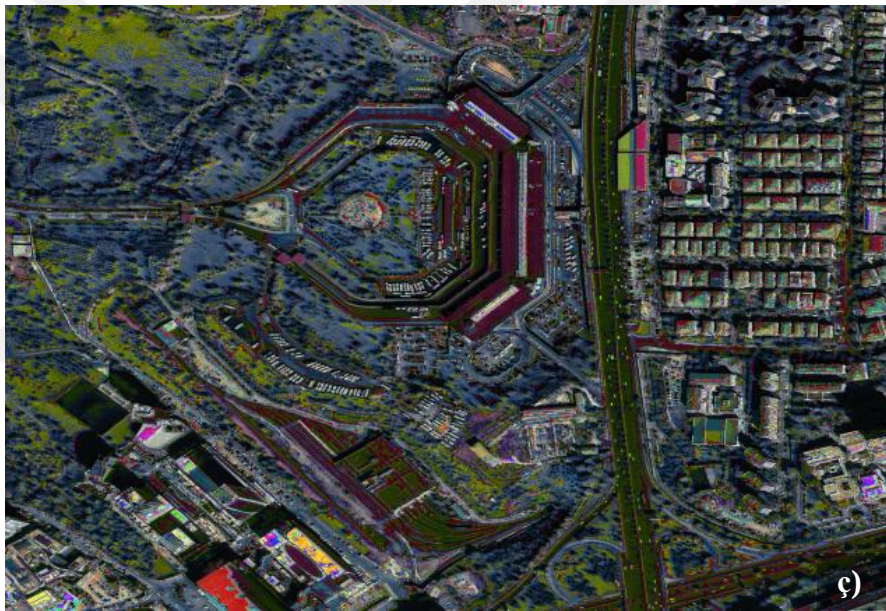




Şekil 4.6. a) PAN görüntü b) MS görüntü c) Gram Schmidt ç) HSV d) NNDiffuse e) HCS f) HPF g) IHS ğ) PCA h) Wavelet ı) Brovey i) Esri j) UNB

Pankeskinleştirme sonucunda AŞTİ bölgesine ilişkin görüntüler Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Burada da pankromatik ve çok spektrumlu görüntülerle birlikte toplamda 11 farklı yöntem ile pankeskinleştirilmiş görüntü görsel olarak kıyaslanabilmektedir.











Şekil 4.7. a) PAN görüntü b) MS görüntü c) Gram Schmidt ç) HSV d) NNDiffuse e) HCS f) HPF g) IHS ğ) PCA h) Wavelet ı) Brovey i) Esri j) UNB

4.3.2. Metrik sonuçlar

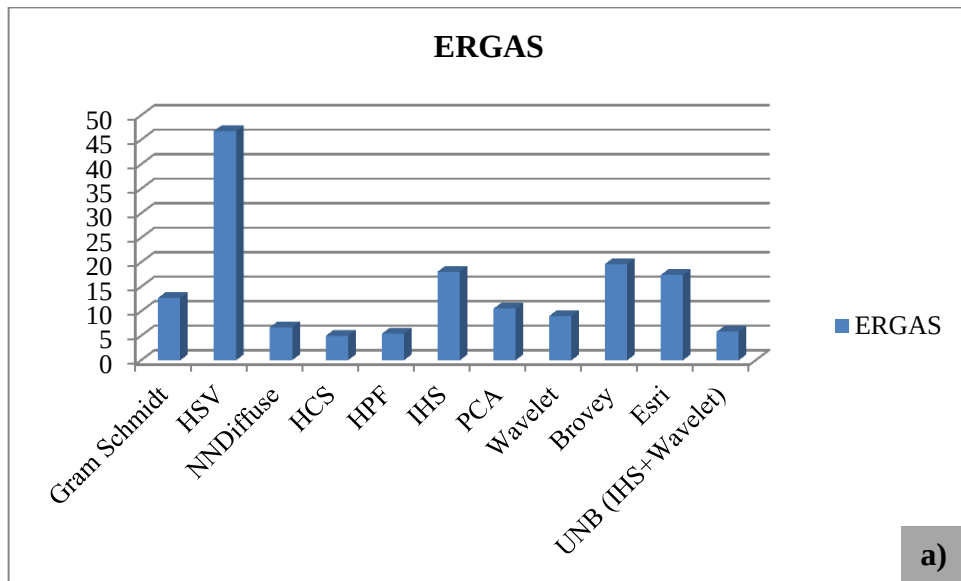
Metrik değerleri elde etmek için MATLAB yazılımından faydalanılmıştır. Pankeskinleştirme metotlarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan 5 farklı ölçüt MATLAB programı yardımıyla matematiksel olarak hesaplanmış ve sonuçlara ilişkin ekran alıntıları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

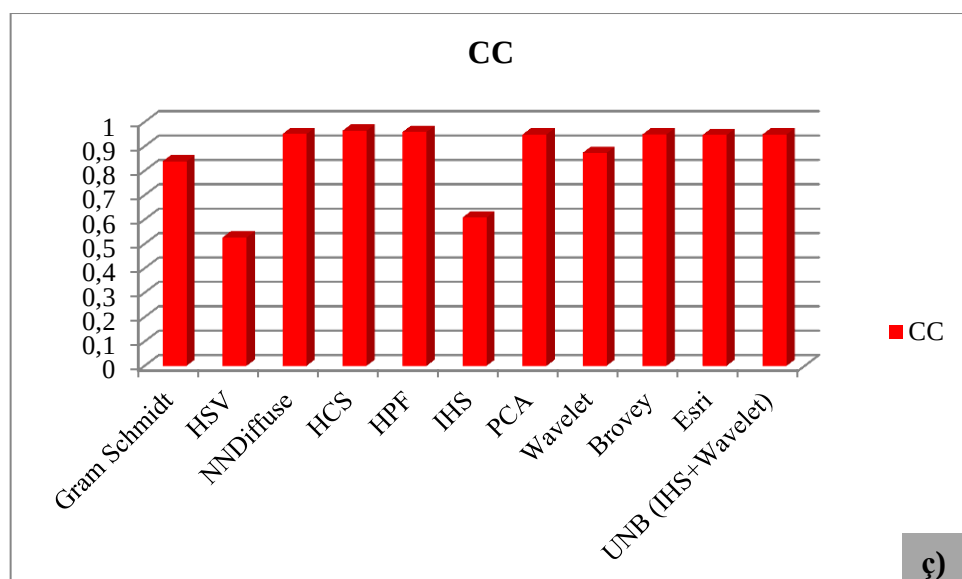
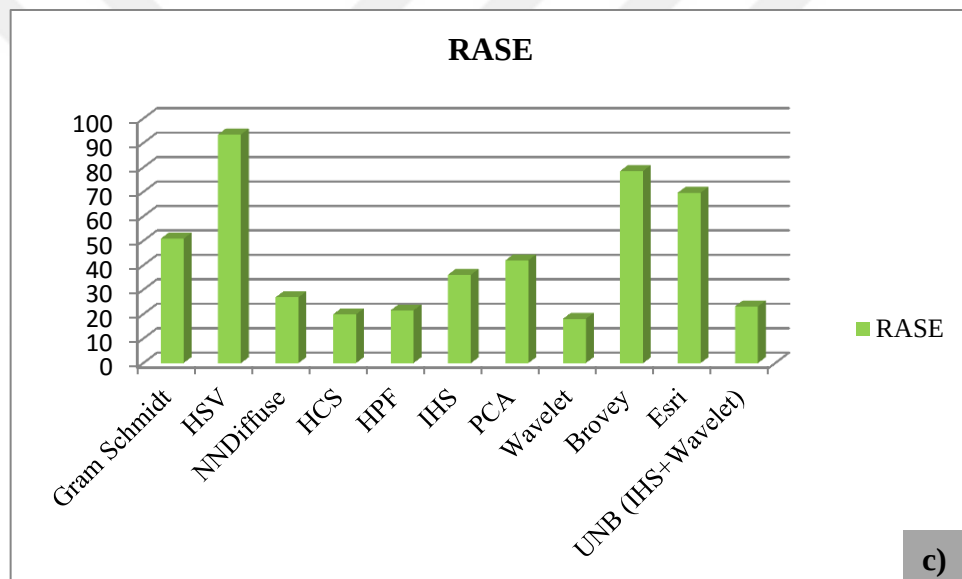
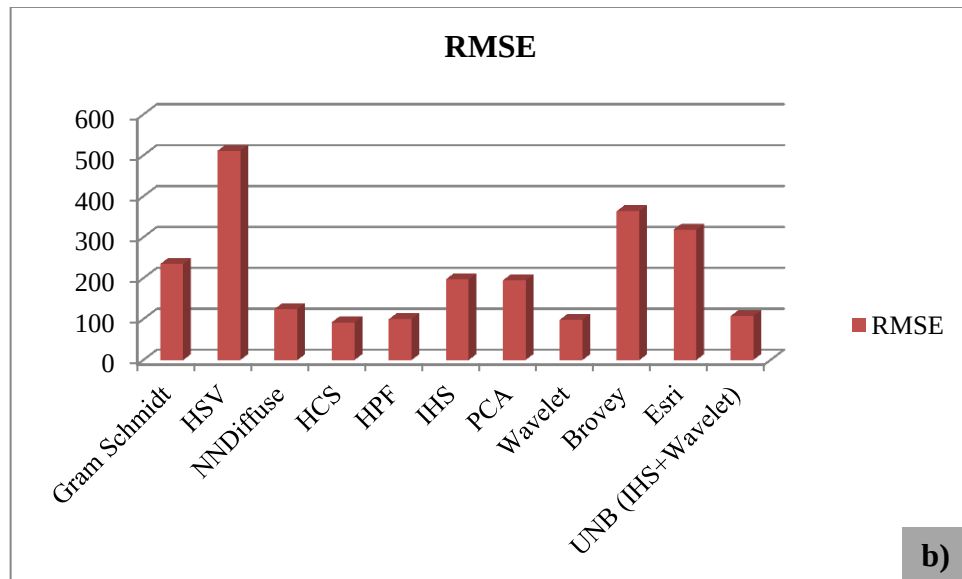
Pankeskinleştirilmiş görüntüler MATLAB programında açık kaynak kodlu olarak hesaplanmış ve en çok kullanılan metrik yöntemlerle karşılaştırması yapılmıştır.

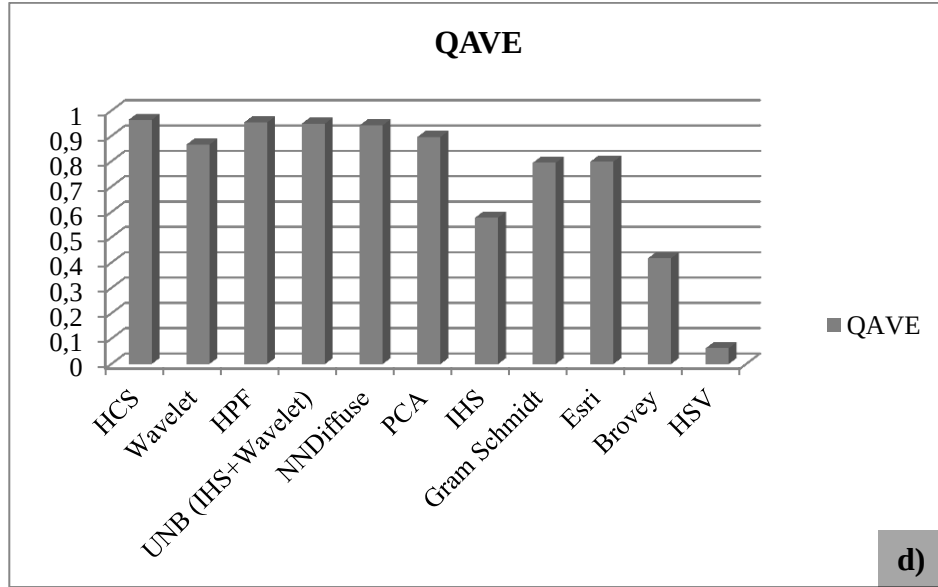
Çizelge 4.1. Matematiksel ölçütler sonucu elde edilen bulgular

	ERGAS	RMSE	CC	RASE	QAVE
Referans Değer	0	0	1	0	1
Gram Schmidt	12,70875	235,0328	0,838463	50,835	0,794311
HSV	46,76136	511,329	0,526591	93,52272	0,062528
NNDiffuse	6,726921	124,6372	0,951297	26,90769	0,942416
HCS	4,978923	92,25477	0,964394	19,91569	0,963976
HPF	5,386647	99,83811	0,959467	21,54659	0,953767
IHS	18,07936	197,202	0,608661	36,15871	0,577839
PCA	10,51012	194,6094	0,949002	42,0405	0,896366
Wavelet	9,040227	98,39511	0,873338	18,08045	0,865941
Brovey	19,64463	363,8174	0,949506	78,57851	0,417672
Esri	17,408	318,5911	0,946895	69,63199	0,798957
UNB (IHS+Wavelet)	5,794949	107,3482	0,949371	23,1798	0,94937

Burada elde edilen sonuçlara göre, kaba hata olduğu değerlendirilen ölçüler çıkarıldıktan sonraki yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerleri de Şekil 4.9'da gösterilmektedir.







Şekil 4.9. (a-d) Algoritmalarla göre elde edilen metrik sonuçlar

4.4. Tartışma

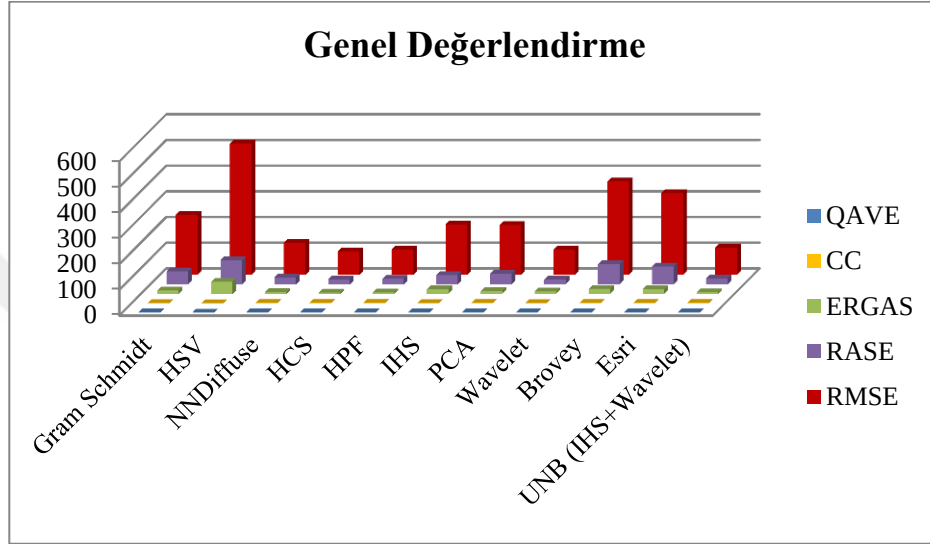
Görsel olarak görüntüleri kıyaslamak kişiden kişiye mutlaka farklılıklar gösterecektir. Ancak bariz olarak hatalı görünen görüntüler herkes tarafından kabul edilir. Görüntüler arasında en iyi görüntüyü seçmek bu konuda uzmanlık gerektirir ama burada değerlendirme yaparken öncelikle Göktürk-1 uydu görüntüleri için kullanılan pankeskinleştirme algoritmalarından hemen hemen hepsinin iyi sonuç verdiği ortaya konulmuştur. Değerlendirmelerimiz görsel ve metrik olarak iki kısımda özetlenebilir.

Görsel sonuçlara incelendiğinde; farklı algoritmalar ile pankeskinleştirilmiş görüntülerin hemen hemen hepsinin güzel sonuçlar verdiği, kullanılan algoritmanın karakteristiğine bağlı olarak bazılarının renk değerlerini daha iyi taşıırken bazılarının mekânsal detay bilgilerini daha fazla koruduğu görülmüştür. HSV algoritması ile elde edilen sonucun hatalı çıktığı değerlendirilmektedir. En güzel görüntüyü UNB algoritması ile pankeskinleştirilmiş görüntünün verdiği değerlendirilmektedir. Wavelet, HPF ve HCS algoritmalarının renk bilgisini daha çok koruduğu, Brovey ve PCA algoritmalarında detay bilgilerinin diğerlerine göre daha iyi anlaşıldığı değerlendirilmektedir.

Metrik sonuçları incelendiğinde; RASE ölçütüne göre en iyi sonucun Wavelet dönüşümü ile elde edilen görüntünün verdiği görülürken, ERGAS, RMSE, CC ve QAVE metriklerine göre en iyi sonuçların HCS algoritması ile pankeskinleştirilmiş görüntüden elde edildiği anlaşılmaktadır. Bütün metriklerde hatalı olduğu

değerlendirilen HSV algoritması ile elde edilen görüntünün en kötü sonuçları verdiği görülmektedir.

Şekil 4.10'da belirtilen genel değerlendirme analizine göre genel olarak HCS, HPF, Wavelet, UNB ve NNDiffuse algoritmaları ile elde edilen görüntülerin metrik sonuçlarının hem birbirlerine yakın olduğu hem de tüm metriklere göre başarılı değerler verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.10. Metrik sonuçlara göre genel değerlendirme analizi

Bizim elde ettiğimiz dalgacık dönüşümü yöntemi ile elde ettiğimiz görüntünün, Ayhan (2014)'ın Trabzon bölgesinde şehir ve tarımsal alanda yaptığı çalışmada olduğu gibi renkleri koruma da başarılı, metrik sonuçlarda ortalama değerler sergilediği, Prof. Dr. Yun Zhang tarafından geliştirilen UNB algoritmasının kendi yaptığı çalışmalarda Geoeye, QuickBird, Ikonos ve WorldView-2'de en iyi sonuçları verdiği gibi bizim çalışmamız sonucunda da görsel açıdan en iyi sonucu UNB algoritması ile elde edilen görüntünün vermiş olduğu, metrik açıdan da oldukça iyi seviyede sonuçlar sergilediği, Snehmani (2016)'nin QuickBird uydu görüntüleri üzerinde yapmış olduğu çalışma da metrik sonuçlarda en iyi sonucun bizim Göktürk-1 görüntüsü içinde metrik açıdan en iyi sonucu elde ettiğimiz HCS algoritmasından elde edilen görüntü olduğu, aynı zamanda Açıkgoz (2015)'in yaptığı çalışmada da RASAT uydu görüntüleri için görsel ve metrik olarak en iyi sonuçların HCS algoritmasından elde edilen görüntü olduğu, Göktürk-2 için ise Özendi (2016) tarafından yapılan benzer çalışmada; ormanlık ve kentsel alanda Brovey algoritmasının metrikte ise IHS algoritmasının güzel sonuçlar verdiği ancak bu çalışmada sadece Brovey, PCA ve IHS algoritmalarının kullanıldığı değerlendirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında ülkemizin ilk ve tek yüksek çözünürlüklü uydusu olan Göktürk-1 uydu görüntüsü için ilk kez farklı pankeskinleştirme algoritmaları görüntü üzerinde uygulanmış, 11 adet pankeskinleştirme algoritması kullanılarak Göktürk-1 uydu görüntülerinin pankeskinleştirilmesi için bir öneri vermeye çalışılmıştır. Ayrıca Brovey ve Esri algoritmalarının görüntüye uygulanması için kullanılan, yerli ve milli bir yazılım olan HASAT yazılımının önemi ve elde edilen sonuçlar vurgulanması gereken diğer bir husustur.

Yapılan çalışma sonucunda Göktürk-1 uydu görüntüsünü pankeskinleştirmek için HCS algoritması kullanıldığında metrik olarak en iyi sonucun alınabileceği, aynı zamanda bu algoritma ile pankeskinleştirilmiş olan görüntünün renk değerlerini de gayet iyi koruduğu tespit edilmiştir. İçerisinde Wavelet ve IHS algoritmalarını barındıran ve bir ticari yazılım için geliştirilmiş olan UNB algoritmasının da görsel açıdan en iyi sonucu verdiği, metrik açıdan da gayet başarılı sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

Ayrıca uydu görüntülerinin kapsadığı alanın özelliği de (meskûn saha, ormanlık saha, suyla kaplı alan, toprak kaplı saha vs.) yazılımın ve kullanılacak pankeskinleştirme algoritmasının belirlenmesinde bir fikir verebileceği de literatürde yapılmış olan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Göktürk-1 uydu görüntüsü ile yapılan bu ilk çalışma sonrasında farklı bitki örtüsü ya da meskûn saha üzerinde zamanla yapılması muhtemel çalışmalarla çalışılacak alanlara göre başarımlar oranı yüksek algoritmalar tespit edilebilir.

Bazı algoritmalar için de Göktürk-1 uydusunun bant değerlerine göre bantların ağırlıkları tespit edilerek ticari firmaların yazılım paketlerine dâhil edilmesi sağlanmalıdır. Göktürk-1 uydu görüntüsü için zamanla UNB algoritmasına benzer şekilde birden çok algoritmanın kombine şekilde uygulanması ile görsel ya da metrik açıdan daha yüksek başarımlar oranlarına sahip pankeskinleştirilmiş görüntüler elde edilebilir. Bunun nedeni firmalar tarafından ilgili algoritmaların yanında çeşitli filtrelerin de ilgili sekmelere ilave edilmiş olmasıdır. Sonuç olarak hangi yazılım kullanılırsa kullanılsın pankeskinleştirilecek görüntünün yer aldığı alanın yeşil alanlardan mı, kırsal topraktan mı, yoksa şehir içi binalardan mı oluşması kullanacağınız uydu görüntüsünün hangi yazılımlarda performanslı sonuçlar verebileceği ile ilgili yapılan çalışmalara göz atılması gerekir.

KAYNAKLAR

- Abas, A. (2015). Uzaktan Algılama Sistemlerinde Görüntü Füzyonu. *TUFUAB VIII.Teknik Sempozyumu*, (s. 183-189). Konya.
- Abas, A. İ. (2011). Çok Spektrallı Görüntü Füzyonu. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- 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.
- Atak, V. O. (2015). Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri. *Harita Dergisi*, 18-33.
- 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-Sharpning. *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*. Ankara.
- 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, Volume IV-4/W4, 2017* (s. 263-270). Karabük: ISPRS.
- Kurt, B. (2014). Uzaktan Algılamada Optik Uydu Görüntülerinin Birleştirilmesi. İstanbul.
- Li, H. (2018). An Improved Pansharpening Method for Misaligned Panchromatic and Muştispectral Data. *Sensors*.
- Maruer, T. (2013). How To Pan-Sharpen Images Using TheGram-Schmidt Pan-Sharpnen 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 Sınıflandırma Açısından Değerlendirilmesi (Evaluation of Image Pan-Sharpening Methods In Terms of Object-Oriented Classification). *HARİTA DERGİSİ*, s. 26-34.
- Özendi, M. (2014). Pleiades-1A Görüntülerinin Pan-Sharpening Performansının İncelenmesi. 5. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*. İstanbul: UZAL-CBS 2014.
- Özendi, M. (2016). Pan Sharpening Quality Investigation Of Turkish In-Operation Remote Sensing Satellites: Applications With Rasat And Göktürk-2 Images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W1*, 2016 (s. 131-135). İstanbul: ISPRS.
- 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.
- Rahaman, K. R. (2017). Pan-Sharpening Of Landsat-8 Images And Its Application In Calculating Vegetation Greenness And Canopy Water Contents. *International Journal Of Geo-Information*, 168.
- Rose, G. (2009). Pan Sharpening. *Photogrametri Engine, Remote Sensing*, September, Vol.17, no.2, s. 18-27
- 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 International Taylor&Francis Group* DOI:10.180/10106049.2016.1206627.
- Sun, W., Chen, B. ve Messinger, D. (2014). Nearest-Neighbor Diffusion-Based Pan-sharpening Algorithm for Spectral Images, *Opt. Eng.* 53(1) 013107 <https://doi.org/10.1117/1.OE.53.1.013107>
- 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.
- Tighe, M. L. (2009). Orthorectification And Pansharpen Rapideye, Ikonos And ALOS Optical Imagery Using High Resolution Nextmap Data. *ASPRS/MAPPS 2009 Fall Conference*. San Antonia: ASPRS.
- Topan, H. (2016). Pleiades 1A Pankromatik ve Çok Bantlı Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Görüntü Kalitesinin, Pan-Keskinleştirme Başarımının ve Sayısal Yüzey/Arazi Modeli Kalitesinin Belirlenmesi. *UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2016)*(6.), 712-722.
- Wang, Z. v. (2002). A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, 81-84.

EKLER

EK-1 Yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konulan uydulara göre en iyi pansharptirme yöntemleri;

Uydu Adı	En İyi Pansharp Tekniği
QuickBird ve IKONOS	LMVM, GS ve UNB
-	En küçük kare ve GS + PSNR
QuickBird	UNB, LMVM ve LMM
IKONOS	SF ve COS
WorldView-2	Ehlers
GeoEye-1, QuickBird, IKONOS ve WorldView-2	UNB
WorldView-2	GS > WRM > Ehlers > HPF > Modified IHS > Brovey
	IHS, Ehlers, Brovey
IKONOS, WorldView-2 ve Pleiades	BDSD, MTF, GLP, CBD

Uydu Adı	En İyi Pansharp Tekniği
QuickBird	Local Mean and Variance Matching, Gram – Schmidt, University of New Brunswick
	University of New Brunswick Local Mean and Variance Matching ve Local Mean Matching
	University of New Brunswick
Ikonos	Local Mean and Variance Matching, Gram – Schmidt, UNB
	Spectral Fusion ve COS
	University of New Brunswick
	Band Dependent Spatial Detail, Modulation Transfer Function, Generalised Laplacian Pyramid, Context Based Decision
WorldView-2	Ehlers
	University of New Brunswick
	GS > WRM > Ehlers > HPF > Modified IHS > Brovey
	Band Dependent Spatial Detail, Modulation Transfer Function, Generalised Laplacian Pyramid, Context Based Decision
GeoEye-1	University of New Brunswick
Pleiades	Band Dependent Spatial Detail, Modulation Transfer Function, Generalised Laplacian Pyramid, Context Based Decision

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet ÜNAL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya 1982
Telefon : 0535 858 13 53
Faks : -
E-Posta : Ahmet.unal@hvkk.tsk.tr, unalahmet@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram Konya Lisesi,	Meram,	Konya	1999
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi,	Selçuklu,	Konya	2003
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi,	Selçuklu,	Konya	2020
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005-Halen	Hv.K.K.lığı	Subay

UZMANLIK ALANI

Fotogrametri ve Uzaktan Algılama

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

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