

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BULANIK
MASKELEME TEMELLİ PANKESKİNLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi SAN

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TAVLI

KASIM 2018

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Doç. Dr. Tolga GİRİCİ
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 151211071 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Ezgi SAN**'nin ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BULANIK MASKELEME TEMELLİ PANKESKİNLEŞTİRİLMESİ"** başlıklı tezi **28.11.2018** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Bülent TAVLI**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Doç. Dr. Tolga GİRİCİ (Başkan)**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sibel Tarıyan ÖZYER
Çankaya Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Ezgi SAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BULANIK MASKELEME TEMELLİ PANKESKİNLEŞTİRİLMESİ

Ezgi SAN

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Tarih: KASIM 2018

Pankeskinleştirme yöntemlerinde temel olarak yapılan işlem yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile düşük uzamsal çözünürlüğe sahip çoklu spektral görüntüyü birleştirmektir. Gerçekleştirilen görüntü füzyonunda elde edilen görüntülerin uzamsal çözünürlüğünü pankromatik görüntü, renk ve spektral çözünürlüğünü ise çoklu spektral görüntü sağlamaktadır. Pankeskinleştirme işlemi sayesinde hem yüksek spektral çözünürlüğe hem de yüksek geometrik çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri elde edilmektedir. Tez çalışması kapsamında, on iki farklı pankeskinleştirme yöntemi dört farklı RASAT veri seti üzerinde test edilmiş ve pankeskinleştirilen görüntülerin spektral ve mekânsal nitelikleri sekiz farklı başarımla kıyaslanarak ölçülmüştür. Bulanık Maskeleme adı verilen yeni bir ön işleme yöntemi sunulmuştur. Pan banda uygulanan Bulanık Maskeleme tekniği sonucu üretilen keskinliği artırılmış pankromatik görüntü ile çoklu spektral görüntü her bir yöntemle göre birleştirilmiştir. Bulanık Maskeleme tekniğinin diğer yöntemler ile kıyaslandığında yaklaşık olarak aynı başarımla sonucunu ürettiği ancak görüntüdeki keskinliği büyük ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen metrik sonuçları ile Optimize edilmiş Yüksek Geçiren Filtre metodunun en keskin görüntüyü verdiği, Hiperküre Renk Uzayı metodunun keskinliği belli bir dereceye kadar muhafaza ettiği bunun yanında renk bilgisini en iyi taşıyan yöntem olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Pankeskinleştirme, RASAT, Bulanık maskeleme, Hiperküre renk uzayı, Yüksek geçiren filtre

ABSTRACT

Master of Science

UNSHARP MASKING BASED PANSHARPENING OF HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY

Ezgi SAN

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Date: NOVEMBER 2018

In Pansharpening process, the basic procedure is to merge a high spatial resolution panchromatic image with a multi-spectral image with low spatial resolution. The spatial resolution of the pansharpened image is obtained from the panchromatic data while the color information and spectral resolution of the pansharpened image is acquired from the multi-spectral data. Within the scope of the thesis, twelve different pansharpening algorithms were tested on four different RASAT data sets. The spectral and spatial attributes of pansharpened image were measured via using eight different numerical performance criterions. Furthermore, a new preprocessing method, called Unsharp Masking is introduced. The Unsharp masked Pan image and the multispectral image are combined with the each pansharpening method to obtain images that are sharpened and increased in resolution. It has been observed that the Unsharp Masking technique produces approximately the same performance result compared to other methods but considerably increases the sharpness of the image. The obtained numerical performance results demonstrate the optimized High Pass Filter method give the sharpest image, while the Hyperspace Color Space method maintains the sharpness to a certain degree, besides it has been determined that carries the best color information.

Keywords: Remote sensing, Pansharpening, RASAT, Unsharp masking, Hyperspectral color space, High pass filter

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Bülent TAVLI, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, destekleriyle her zaman yanımda olan annem Latife Dilek YILMAZ ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan Fırat KUMRU'ya çok teşekkür ederim. Bu sürecin başından sonuna kadar bilgi, birikim, tecrübelerinden faydalandığım Sayın Mustafa TEKE ve arkadaşım Ezgi KOÇ'a yardımlarından ötürü teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca bana burs sağladığı için TOBB ETÜ'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xi
RESİM LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon	1
1.2 Literatür Araştırması	4
2. PANKESKİNLEŞTİRME	7
2.1 Örneklemeye Yöntemleri	8
2.1.1 En yakın komşu interpolasyonu (Nearest)	9
2.1.2 Çift yönlü doğrusal interpolasyon (Bilinear)	9
2.1.3 Çift yönlü kübik interpolasyon (Bicubic)	10
2.2 Pankeskinleştirme Yöntemleri	11
2.2.1 Brovey	11
2.2.2 Gram-Schmidt (GS)	12
2.2.3 Hiperküre Renk Uzayı (HCS)	13
2.2.4 HCS Smart (HCS-S)	15
2.2.5 Yoğunluk Renk Doyumu (IHS)	16
2.2.6 Temel Bileşen Analizi (PCA)	17
2.2.7 Dalgacık Dönüşümü	19
2.2.8 Yüksek Geçiren Filtre (HPF)	20
2.2.9 Optimize Yüksek Geçiren Filtre (Opt. HPF)	21
2.2.10 Renk Doyum Değeri (HSV)	22
2.2.11 Yumuşatıcı Filtre Temelli Yoğunluk Modülasyonu (SFIM)	24
2.2.12 Kılavuz Filtre Yöntemi (GF)	25
2.3 Sayısal Başarı Ölçütleri	26
2.3.1 Karekök Ortalama Hatası (RMSE)	27
2.3.2 Spektral Açık Eşleştiricisi (SAM)	28
2.3.3 QAVE	28
2.3.4 Bağlı Ortalama Spektral Hatası (RASE)	28
2.3.5 ERGAS	29
2.3.6 Uzamsal	29
2.3.7 Korelasyon Katsayısı (CC)	29
2.3.8 Spektral Bilgi Farklılığı (SID)	30
3. BULANIK MASKELEME YÖNTEMİ	31
4. SONUÇLAR	35

4.1 Görsel Sonuçlar	35
4.2 Metrik Sonuçları	39
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	47



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: (a) En yakın komşu interpolasyon fonksiyonu, (b) fonksiyonun Fourier dönüşümü ve (c) Fourier dönüşümün logaritması	9
Şekil 2.2: (a) Çift yönlü doğrusal interpolasyon fonksiyonu, (b) fonksiyonun Fourier dönüşümü ve (c) Fourier dönüşümün logaritması	10
Şekil 2.3: (a) Çift yönlü kübik interpolasyon fonksiyonu, (b) fonksiyonun Fourier dönüşümü ve (c) Fourier dönüşümün logaritması	10
Şekil 2.4: Brovey yöntemi akış diyagramı	11
Şekil 2.5: Gramm-Schmidt yöntemi akış diyagramı	13
Şekil 2.6: Hiperküre Renk Uzayı yöntemi akış diyagramı	14
Şekil 2.7: Yoğunluk Renk Doyum yöntemi akış diyagramı	17
Şekil 2.8: Temel Bileşen Analizi yöntemi akış diyagramı	18
Şekil 2.9: Wavelet yöntemi akış diyagramı	19
Şekil 2.10: Yüksek Geçiren Filtre yöntemi akış diyagramı	21
Şekil 2.11: Optimize Yüksek Geçiren Filtre yöntemi akış diyagramı	21
Şekil 2.12: Renk Doyum Değeri yöntemi akış diyagramı	23
Şekil 2.13: Yumuşatıcı Filtre Temelli Modülasyon yöntemi akış diyagramı	24
Şekil 2.14: Kılavuz Filtre yöntemi akış diyagramı	25
Şekil 2.15: Görüntü işlemede sıklıkla kullanılan metrikler ve sınıflandırılması	26
Şekil 3.1: Bulanık Maskeleme yöntemi akış diyagramı	32

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1: RASAT uydusu teknik özellikleri	3
Çizelge 2.1: Referans görüntüye ihtiyaç duyan metrikler, referans ve yakınsanması beklenen değerleri	27
Çizelge 4.1: Kübik interpolasyon tekniği kullanılarak İstanbul görüntüsünden elde edilen tüm yöntemlere ait rakamsal sonuçlar	40
Çizelge 4.2: En yakın komşu interpolasyon tekniği kullanılarak İstanbul görüntüsünden elde edilen tüm yöntemlere ait rakamsal sonuçlar	40
Çizelge 4.3: Doğrusal interpolasyon tekniği kullanılarak İstanbul görüntüsünden elde edilen tüm yöntemlere ait rakamsal sonuçlar	41
Çizelge 4.4: Ankara Görüntüsü IHS metodu için uygulanan Unsharp yöntemi sayısal başarımlar ölçüt sonuçları	41
Çizelge 4.5: İzmir görüntüsü Bulanık Maskeleyme (3, 0.5, 10) ile önışlenmiş tüm metotların RMSE ve Uzamsal rakamsal sonuçları	42

KISALTMALAR

A	: Ağırlık Parametresi (Weight parameter)
CC	: Korelasyon Katsayısı (Correlation Coefficient)
E	: Eşik Parametresi (Threshold parameter)
GS	: Gramm-Schmidt
HCS	: Hiperküre Renk Uzayı (Hyper Spherical Color Space)
HCS-S	: Akıllı Hiperküre Renk Uzayı (Hyper Spherical Color Space Smart)
HPF	: Yüksek Geçiren Süzgeç (High Pass Filter)
HSV	: Renk Doyum Değeri (Hue Saturation Value)
IHS	: Yoğunluk Renk Doyumu (Intensity Hue Saturation)
KYM	: Kırmızı-Yeşil-Mavi Görüntü
PCA	: Temel Bileşen Analizi (Principle Component Analysis)
PKG	: Pankeskinleştirilmiş Görüntü
S	: Sigma Parametresi (Sigma Parameter)
SAM	: Spektral Açık Eşleştiricisi (Spectral Angle Mapper)
SFIM	: Yumuşatıcı Filtre Temelli Yoğunluk Modülasyonu (Smoothing Filter-based Intensity Modulation)
SID	: Spektral Bilgi Farklılığı (Spectral Information Divergence)
Opt. HPF	: Optimize Yüksek Geçiren Filtre (Optimized High Pass Filter)
RASE	: Bağlı ortalama spektral hatası (Relative Average Spectral Error)
RGB	: Kırmızı-Yeşil-Mavi Renk Uzayı (Red-Green-Blue Color Space)
RMSE	: Ortalama karekök hata (Root Mean Square Error)
US	: Bulanık Maskeleyme (Unsharp)

RESİM LİSTESİ

Resim 1.1: Farklı mekânsal çözünürlüklerde İzmir pankromatik uydu görüntüsü	1
Resim 1.2: İstanbul'a ait (a) pankromatik ve (b) çoklu spektral uydu görüntüsü	2
Resim 1.3: İzmir'e ait Pan, kırmızı, yeşil ve mavi bant görüntüsü	2
Resim 1.4: (a) Pankromatik, (b) çoklu spektral ve (c) Yüksek Geçiren Filtre yöntemiyle keskinleştirilmiş İstanbul görüntüsü	4
Resim 2.1: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) Brovey metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	12
Resim 2.2: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) Gramm-Schmidt metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	13
Resim 2.3: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HCS metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	15
Resim 2.4: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HCS-S metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	16
Resim 2.5: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) IHS metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	17
Resim 2.6: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) PCA metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	19
Resim 2.7: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) Wavelet metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	20
Resim 2.8: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HPF metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	21
Resim 2.9: Ankara çoklu spektral görüntü ve Opt. HPF metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	22
Resim 2.10: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HSV metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	24
Resim 2.11: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) SFIM metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	25
Resim 2.12: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) GF metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü	26
Resim 3.1: İstanbul Bulanık Maskeleyme sonucu elde edilen Keskin Pan görüntüsü	32
Resim 3.2: İstanbul HCS ve Bulanık Maskeleyme sonucu elde edilen HCS görüntüsü	33
Resim 3.3: İstanbul Optimize HPF ve Bulanık Maskeleyme sonucu elde edilen Optimize HPF görüntüsü	33
Resim 4.1: İstanbul pankromatik, çoklu spektral ve pankeskinleştirme yöntemleri sonucu elde edilen görüntülerin görsel sonuçları	35
Resim 4.2: İstanbul görüntüsü için yöntemler ve görsel sonuçları	36
Resim 4.3: Ankara Görüntüsü İçin HPF, Optimize HPF ve HCS Görüntüleri	37

Resim 4.4: Antalya HCS, Unsharp HCS, HCS-Smart yöntemleri görsel sonuçları	37
Resim 4.5: Antalya HPF, Unsharp HPF, Optimized HPF yöntemleri görsel sonuçları	37
Resim 4.6: İzmir görüntüsü IHS ve farklı Sigma, Ağırlık ve Eşik parametreleri ile Unsharp yönteminin görsel sonuçları	38
Resim 4.7: İzmir IHS ve Unsharp(Sigma:3, Ağırlık:0.5, Eşik:10) yöntemi görsel sonuçları	39
Resim 4.8: İzmir IHS ve Unsharp(Sigma:10, Ağırlık:1, Eşik:25) yöntemi görsel sonuçları	39

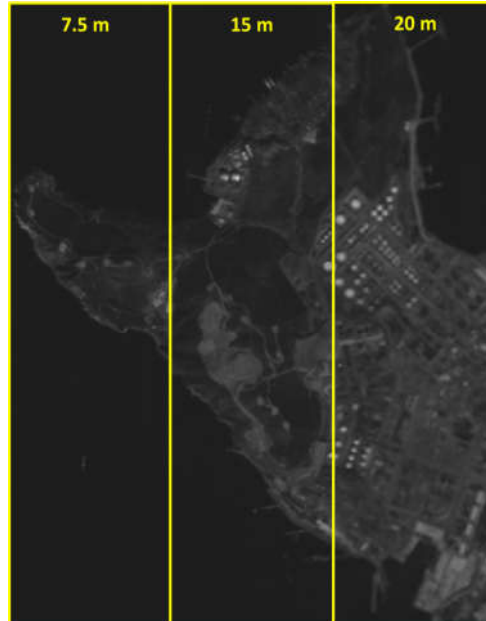


1. GİRİŞ

1.1 Motivasyon

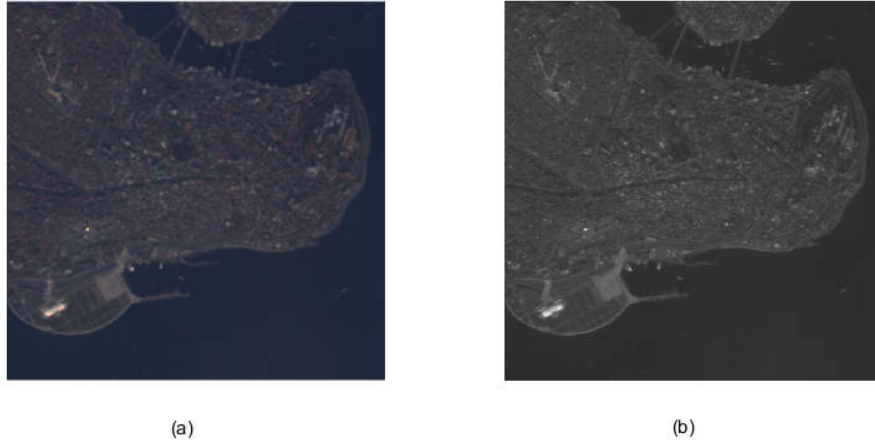
Yer gözlem uydularından farklı elektromanyetik spektrumları içeren farklı mekânsal (geometrik/uzamsal), spektral, radyometrik ve zamansal çözünürlüklere sahip görüntü verileri alınmaktadır. Mekânsal çözünürlük geometrik olarak ayırt edilebilecek en küçük nesnenin boyutudur ve metre veya feet gibi uzunluk ölçüsü birimleri ile ifade edilir. Mekânsal çözünürlük azaldıkça görüntü daha az piksel ile ifade edilir ve görüntüdeki nesnelere ait ayrıntıların gözlemlenmesi zorlaşır. Spektral çözünürlük görüntü verisindeki bant sayısı ve bant genişliğini ifade etmektedir. Bant aralığı azaldıkça spektral çözünürlük artar, bant sayısı arttıkça sensörlerden gelen görüntüye ait spektrum bilgileri arttığından spektral çözünürlük de artar. Genellikle nanometre birimi ile ifade edilir. Radyometrik çözünürlük görüntünün ifade edildiği bit sayısıdır, verinin parlaklık değerindeki ayrıntı bilgisi olarak tanımlanır. Zamansal çözünürlük ise bir uydunun bir yere ait görüntüyü almasından itibaren, aynı yere ait görüntüyü tekrar alması arasında geçen süre olarak ifade edilmektedir.

RASAT'dan alınan İzmir'e ait 7.5 metre, 15 metre ve 20 metre mekânsal çözünürlükteki pankromatik görüntü Resim 1.1'de yer almaktadır. 7.5 metre pankromatik görüntünün ham mekânsal çözünürlüğü olup diğer çözünürlük değerleri pankromatik görüntünün üst örneklenmesi sonucu elde edilmiştir.



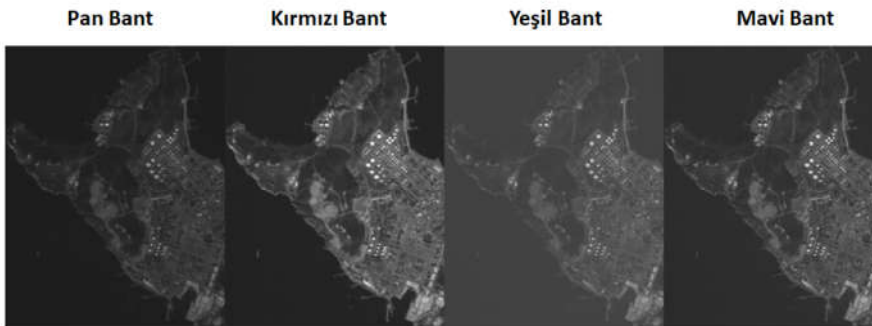
Resim 1.1: Farklı mekânsal çözünürlüklerde İzmir pankromatik uydu görüntüsü

Uydu kameralarında bulunan sensörlerden çoklu spektral/hiperspektral ve pankromatik olmak üzere iki tip görüntü verisi alınmaktadır. Alınan görüntüler az sayıda bant içeriyorsa (genellikle 3 veya 4 bant) çoklu spektral olarak isimlendirilir. Eğer 100-1000 aralığında bant sayısına sahip ise görüntü hiperspektral olarak isimlendirilir. Pankromatik görüntü kırmızı, yeşil ve mavi dalga boylarında elde edilen görüntü verilerindeki bilgileri sentezler, gri tonlamalı ve yüksek uzamsal çözünürlüklüdür. Çoklu spektral görüntü ise genellikle 3 veya 4 banttan oluşur ve pankromatik görüntüye göre daha düşük uzamsal çözünürlüklüdür. Resim 1.2’de RASAT’dan elde edilen pankromatik ve çoklu spektral uydu görüntülerine yer verilmiştir.



Resim 1.2: İstanbul'a ait (a) pankromatik ve (b) çoklu spektral uydu görüntüsü

Bu tez çalışmasında kullanılan pankeskinleştirme algoritmaları, tasarımı ve üretimi Türkiye’de gerçekleştirilen ilk yer gözlem uydusu ve ikinci uzaktan algılama uydusu olan RASAT’dan alınan görüntüler üzerinde uygulanmıştır. Bu görüntüler haritacılık, afet izleme, çevre, şehircilik ve planlama gibi pek çok çalışma disiplininde aktif olarak kullanılmaktadır. RASAT’dan alınan pankromatik görüntünün çözünürlüğü 7.5 metre, çoklu spektral görüntü ise kırmızı, yeşil ve mavi bantlarını içermekte olup (Resim 1.3), çözünürlüğü 15 metredir.



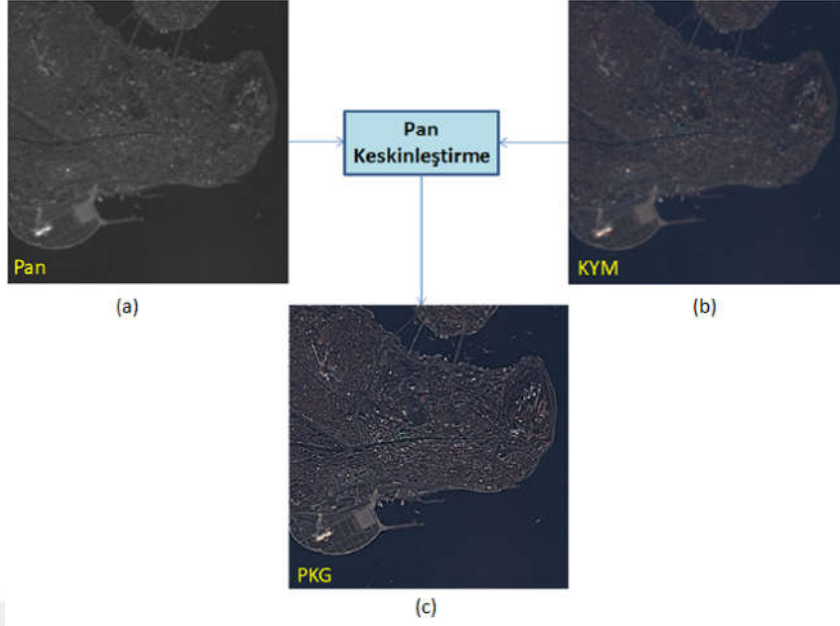
Resim 1.3: İzmir'e ait Pan, kırmızı, yeşil ve mavi bant görüntüsü

Çizelge 1.1: RASAT uydusu teknik özellikleri

Ağırlık	93 kg
Yörünge	589 km'de dairesel, güneş eş zamanlı
Yönelim Kontrolü	3 eksen kontrollü
Yörünge süresi	98.8 dakika
Ekvator geçişi yerel zamanı	10:30
Uzamsal Çözünürlük	Pankromatik: 7.5 m Çok bantlı: 15 m
Tahmini Ömür	3 yıl
Tayfsal Çözünürlük	0.42-0.73 (Pankromatik) 1. Bant: 0.42-0.55 (Mavi) 2. Bant: 0.55-0.58 (Yeşil) 3. Bant: 0.58-0.73 (Kırmızı)
Radyometrik Çözünürlük	8 bit
Zamansal Çözünürlük	4 gün
Şerit Genişliği	30 km
Faydalı Yükler	Optik faydalı yük BİLGE GEZGİN-2 X-Bant Verici Modülü

Günümüzde uydu görüntüleri şehir planlama, navigasyon, savunma, ormancılık, tarım ve jeoloji gibi çalışma alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak uydu sensörleri sadece belirli frekans aralıklarında ve belirli çözünürlükte olan görüntüleri algılamaktadır. Uydulardan sağlanan çoklu sensörlü ve çok yönlü görüntü verilerinin birleştirilmesi ile bu kısıtlamanın ötesine geçilmiş ve uzaktan algılama görüntü değerlendirilmesinde, uydu görüntülerinin füzyon edilmesi değerli bir araç haline gelmiştir. [33]. Füzyon işlemi esnasında görüntülerin sahip olduğu çözünürlük bilgilerinin korunması bunun yanında görüntüye ait detay bilgilerin arttırılması amaçlanır.

Görüntü verilerinin birleştirilmesinde kullanılan en yaygın yaklaşım yüksek spektral çözünürlüklü görüntü ile yüksek geometrik çözünürlüklü görüntünün birleştirilmesidir. Bu birleştirme işlemi esnasında kullanılan yüksek uzamsal çözünürlükteki görüntü bir pankromatik görüntü ise, bu füzyon işlemi pankeskinleştirme olarak isimlendirilir. Pankeskinleştirme yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntüyü kullanarak, düşük çözünürlüklü çoklu-spektral uydu görüntülerinin uzamsal çözünürlüğünü arttırmak üzere uygulanan piksel seviyeli bir füzyon tekniğidir.[38]. Bu birleştirme esnasında önce çoklu spektral görüntü interpolasyon teknikleri kullanılarak örneklenir daha sonra kullanılan yöntemle pankromatik görüntü ile birleştirilerek pankeskinleştirilmiş görüntü oluşturulur. Resim 1.4'te pankromatik, renkli ve yüksek geçiren filtre yöntemiyle keskinleştirilmiş İstanbul görüntüsüne yer verilmiştir.



Resim 1.4: (a) Pankromatik, (b) çoklu spektral ve (c) Yüksek Geçiren Filtre yöntemiyle keskinleştirilmiş İstanbul görüntüsü

1.2 Literatür Araştırması

Pankeskinleştirme üzerinde yoğun olarak çalışılmış algoritmalarla kurulmuş popüler bir araştırma alanıdır [1], bununla birlikte araştırmacıların pankromatik görüntülerin keskinliğini ve çoklu spektral bantların spektral bilgilerini koruyan en uygun yöntemleri elde etmeye çalışması halen aktif bir çalışma alanıdır.

Son dönemde bu alanda yapılan araştırmalardan [28] numaralı çalışmada 8 banda sahip, pankromatik çözünürlüğü 0.46 metre, çoklu spektral çözünürlüğü 1.84 metre olan Worldwide-2 uydu görüntüleri üzerinde 4 farklı pankeskinleştirme algoritması uygulanmıştır. Yoğunluk Renk Doyumu, Temel Bileşen Analizi, Gramm-Schmidt ve Hiperküre renk uzayı pankeskinleştirme algoritmaları uydu görüntüleri üzerinde test edilmiş ve elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntünün kalitesi Wang-Bovic indeksi ve Çapraz Korelasyon metrikleri ile değerlendirilmiştir. Bu iki metriği spektral ve uzaysal alanlarda entegre eden yeni bir metrik literatüre sunulmuştur. Sunulan sonuçlar temel alınarak spektral kaliteyi en iyi koruyan metot HCS Smart yöntemi olurken, başarımları en düşük olan yöntem Yoğunluk Renk Doyumu metodu olmuştur. Bunun yanında uzaysal çözünürlükte en yüksek başarımları IHS metodu ile elde edilmiştir.

Pankeskinleştirme tekniklerinde, çoklu spektral görüntüdeki spektral bilgilerin korunması bunun yanında uzaysal çözünürlüğün artırılması hedeflenir. [2] numaralı çalışmada literatürde kullanılan temel pankeskinleştirme yöntemleri detaylı olarak tanıtılmış, bu metotların temel prensipleri, bileşenleri ve kullanım alanlarına yer verilmiştir. Yapılan araştırmada pankeskinleştirme işlemi 4 adımda gerçekleştirilmektedir. Pankeskinleştirme için izlenmesi gereken temel adımlar sırasıyla verinin ön işlenmesi, uygulama alanına yönelik uygun pankeskinleştirme yönteminin seçilmesi ve metodun uygu-

lanması, yöntem sonucunda çıkan görüntünün mekânsal ve spektral çözünürlüklerinin değerlendirilmesi ve metrik sonuçlarının uygulama alanına göre yorumlanmasıdır. Ön işleme aşamasında öncelikle Pan ve çoklu spektral görüntü kaydı alınır. İkinci adım olarak çoklu spektral görüntü interpolasyon teknikleri kullanılarak örneklenir. Örnekleme işleminden sonra Pan ve çoklu spektral görüntü histogramları eşitlenerek iki görüntü içerisinde mevcut olan spektral bozukluklar giderilerek veri normalize edilmiş olur. Literatürde bulunan pankeskinleştirme metotları Amro et. al. tarafından kullanılan ana tekniklere göre 5 farklı kategori altında toplanmıştır: Birinci kategori bileşen değişimini temel alan metotlara ayrılmıştır. Bu metotlar Yoğunluk Renk Doyumu, Gramm-Schmidt ve Temel Bileşen Analizi olup bütün metotlar doğrusal dönüşüm ve dönüşümü yapılmış uzaydaki bandın, görüntü uzayındaki formuyla yer değiştirilmesi temeline dayanır. İkinci kategori göreceli spektral katkıda bulunan Brovey Dönüşümü ve Yoğunluk Modülasyonu gibi yöntemlere ayrılmıştır. Bu yöntemler temel olarak bantların doğrusal kombinasyonu ve birleştirilmesini baz almaktadır. Bir diğer kategori yüksek frekans bilgisinin görüntüye eklenmesi temeline dayanır, bu kategoride kullanılan en yaygın yöntem Yüksek Geçiren Filtredir. Dördüncü kategori görüntünün istatistiksel özelliklerini kullanan bir dizi yöntem içerir. Beşinci ve son kategoride ise çoklu çözünürlük temelli metotlara yer verilmiştir. Uygulama alanına uygun pankeskinleştirilmiş görüntünün elde edilmesinden sonraki aşama elde edilen görüntünün spektral ve mekânsal çözünürlüklerinin değerlendirilmesi için metriklerin seçilmesi, metrik sonuçlarının elde edilmesi ve yorumlanmasıdır.

Pan ve çoklu spektral görüntünün füzyon işlemi, elde edilen keskinleştirilmiş görüntüde bazı spektral ve uzaysal bozulmaları ortaya çıkarır. Bu bozulmaların keskinleştirilmiş görüntüye etkisi kullanılan yöntemlere göre çeşitlilik göstermektedir. Pallson et. al., çalışmalarında spektrum ve mekânsal bozulmaların, pankeskinleştirilmiş uydu görüntülerinin sınıflandırılmasındaki doğruluğu üzerine etkilerini incelemiştir [29]. Bu çalışmada Matematiksel Morfoloji yöntemi kullanılarak pankromatik verilerden yerel mekânsal bilgilerin elde edilip sınıflandırma işlemi esnasında bu bilgilerin kullanılması ile sınıflandırıcı performanslarının artırılması öngörülmüştür. IKONOS ve QuickBird uydularından elde edilen 3 farklı görüntü veri seti üzerinde 6 farklı pankeskinleştirme yöntemi denenmiş, spektral ve uzaysal çözünürlükteki etkilerin değerlendirilmesi ve metotların sınıflandırılmasında ise Destek Vektör Makineleri ve Random Forest yöntemleri kullanılmıştır.

Görüntü füzyon işleminde genellikle tek bir yöntem kullanılmaz. İstatistiksel operatörleri kullanan, doğrusal veya renk uzayları arasında dönüşümleri ele alan birden fazla görüntü birleştirme yöntemi veri seti üzerinde test edildikten sonra görsel ve ölçüt sonuçları ile değerlendirilerek kullanım alanına uygun olacak yöntem seçilmektedir. Ehlers et. al., yayımladıkları araştırmalarında literatürde yaygın kullanılan altı farklı görüntü kaynaştırma yönteminin performans analizlerinin yapılmasını amaçlamıştır. Sekiz adet multitemporal çoklu spektral uzaktan algılama görüntüsü, pankromatik Kuzey İspanya İkonos görüntüsü ve yedek olarak TerraSAR-X radar görüntüsü ile birleştirilmiştir [7]. Temel alınan yöntemler Brovey, Dalgacık, Gramm-Schmidt ve Ehlers olup, füzyon edilmiş görüntüler, spektral ve mekânsal karakteristiklerin korunması ve iyileştirilmesi için görsel ve niceliksel olarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Ehler's yönteminin renk korumasının ve istatistiksel başarısının diğer yöntemlerden üstün olduğunu göstermektedir.

Pankeskinleştirme ile görüntülerin füzyon edilmesi her geçen gün daha da ilgi gören ve üzerinde çokça araştırma yapılan bir alan haline gelmiştir. Kaiming He [12] tarafından literatüre sunulan yerel bir doğrusal modelden türetilen kılavuzlu filtre yöntemi, keskin görüntüler elde edilmesinde oldukça başarı sağlamıştır. Görüntü kılavuz görüntü olarak isimlendirilen bir görüntü ile filtrelenir. Bu yöntemde renk uzayındaki doğrusal modelden türetilen kılavuzlu filtre, giriş görüntüsünün kendisi veya başka bir farklı görüntü olabilecek bir kılavuz görüntüsünün içeriğini dikkate alarak filtreleme çıktısını hesaplar. Kılavuzlu filtre, çift taraflı filtre gibi kenar koruyucu bir yumuşatma operatörü olarak kullanılabilir, ancak kenarların yakınında bu filtreye kıyasla daha başarılı davranışlara sahiptir. Önerilen yöntemde kılavuz görüntü yapılarının filtreleme çıktısına aktarılabilmesi güdümlü geçiş gibi yeni filtreleme uygulamalarına da olanak sağlamaktadır. Deneyler, yönlendirilmiş filtrenin, kenardan bilinçli düzeltme, ayrıntı geliştirme, HDR sıkıştırma, görüntü soldurma, ortak örnekleme, vb., çok çeşitli bilgisayar görüşü ve bilgisayar grafik uygulamalarında etkili ve verimli olduğunu göstermektedir.

Bu alanda yapılan yeni çalışmalardan biri de Fasbender et. al. [8] tarafından literatüre sunulmuştur. Araştırmada Bayes yaklaşımının görüntülerin pankeskinleştirme problemlerinde kullanılması önerilmiştir. Sunulan Bayes veri füzyonu yöntemi, görüntünün içerdiği spektral bantlar ve pankromatik bant arasındaki modelleme hipotezlerini kısıtlamadan, istatistiksel ilişkilere dayanmaktadır. Ek olarak yöntem kullanıcının spektral ve Pan banda ait bilgileri görsel ve sayısal kriterler göz önüne alarak ağırlıklandırmasına olanak sağlamaktadır. IKONOS uydu görüntülerinden türetilmiş farklı altküme verileri üzerinde test edilerek bu yaklaşımın performansı değerlendirilmiştir. Karşılaştırılan yöntemler arasında Bayes veri füzyonu yönteminin en yüksek spektral tutarlılığı karşıladığı sonucuna varılmıştır. Basit matematiksel alt yapıya sahip olmasından ötürü yöntemin uygulanması ve çalıştırılması hızlı olmuştur. Optik/SAR veya Hiperspektral görüntü füzyonunda da başarılı sonuçlar üreteceği ön görülmüştür.

Son zamanda yapılan akademik çalışmalar yapay zeka araştırma konularından doğrusal olmayan derin sinir ağlarının, karmaşık yapılar için önemli bir temsil gücüne sahip olmasının görüntü işleme alanında da üstün performans elde edilmesine olanak vereceğini savunmaktadır. [16] numaralı çalışmada uzaktan algılama görüntü füzyonu problemi için derin sinir ağları yöntemini temel alan yeni bir pankeskinleştirme metodu önerilmiştir. Derin Sinir ağları temelli pankeskinleştirme işlemi temel olarak 3 adım içermektedir. İlk olarak eğitim seti oluşturulur. İkinci adımda modele kullanılacak nöron ve katman sayısı belirlenir, pankromatik ve çoklu spektral görüntü ağırlıklandırılır ve model eğitilir. Son aşamada da yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile ağırlıklandırılan renkli görüntü birleştirilir. Araştırmada sinir ağları tarafından temsil edilebilen yüksek çözünürlüklü ve düşük çözünürlüklü görüntü arasındaki spektral ilişkiyi eğitmek için bir modifiye seyrekleştirici oto kodlayıcı algoritması önerilmiştir. Bu çalışmada da IKONOS uydu verileri kullanılmış, Gramm-Schmidt, uyarlamalı Yoğunluk Renk Doyumu ve Wavelet yöntemleriyle nicelik ve nitelik kıyaslamaları yapılmıştır. Sonuçlar geleneksel yöntemler ve son teknoloji pankeskinleştirme yöntemlerine oranla büyük ölçüde başarı kaydedildiğini göstermiştir. Önerilen yöntem, yeniden yapılandırma aşamasında herhangi bir optimizasyona ihtiyaç duymadığından çok daha hızlıdır, ancak bunun yanında önerilen yöntemin eğitim aşaması diğer algoritmalara oranla çok daha fazla zaman gerektirir.

2. PANKESKİNLEŞTİRME

Tez kapsamında, 12 farklı pankeskinleştirme algoritması 4 farklı RASAT görüntü veri seti üzerinde test edilmiş, elde edilen mekânsal çözünürlüğü artırılmış görüntüler 8 farklı metrik ile değerlendirilip, yöntemlere ait başarımları sunulmuştur. Pankeskinleştirme yönteminin yanı sıra uzaysal olarak daha yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesi amacıyla geliştirilen Bulanık Maskeleye metodu tanımlanmış, mevcut literatürde kullanılan yöntemler ile entegre edilmiştir. Pankeskinleştirme işlemi sırasıyla aşağıdaki 4 adım ile gerçekleştirilmektedir. Her bir adım ayrı bir bölüm olarak ele alınarak incelenmiştir.

I. RASAT uydusuna ait pankromatik ve çoklu spektral radyometrik düzeltilmiş ve bant çakıştırılmış Seviye 1 (L1R) görüntü kayıtları <https://www.gezgin.gov.tr> üzerinden alınarak veri seti oluşturulur. Oluşturulan veri setinin içerisinde yer alan pankromatik görüntülerin boyutu 4040×4032 , çoklu spektral görüntülerin boyutu ise 2020×2016 'dir. Çalışma kapsamında kullanılan veri setleri 4 adet olup şu şekildedir:

- Ankara görüntü seti
- İzmir görüntü seti
- İstanbul görüntü seti
- Antalya görüntü seti

II. Veriler ön işleme aşamasında çoklu spektral görüntü interpolasyon teknikleri kullanarak örneklenir. Çalışma kapsamında kullanılan interpolasyon yöntemleri 3 adet olup şu şekildedir:

- En yakın komşu interpolasyonu
- Çift yönlü doğrusal interpolasyon
- Çift yönlü kübik interpolasyonu

III. Pankeskinleştirme yöntemi belirlenir ve görüntüler bu yöntem baz alınarak birleştirilir. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemler 12 adet olup şu şekildedir:

- Brovey
- Gramm-Schmidt (GS)
- Hiperküre Renk Uzayı (HCS)
- HCS Smart (HCS-S)
- Yoğunluk Renk Doyumu (IHS)

- Temel Bileşen Analizi (PCA)
- Dalgacık Dönüşümü
- Yüksek Geçiren Filtre (HPF)
- Optimize Yüksek Geçiren Filtre (OPT.HPF)
- Renk Doyum Değeri (HSV)
- Yumuşatıcı Filtre Temelli Yoğunluk Modülasyonu (SFIM)
- Kılavuz Filtre (GF)

IV. Yöntem sonucunda elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntünün niteliği çeşitli metrikler ile değerlendirilerek yöntemlere ait başarımları elde edilir. Kullanılan metrikler 8 adet olup şu şekildedir:

- Karekök Ortalama Hata (RMSE)
- Spektral Açık Eşleştiricisi (SAM)
- QAVE
- Bağıl ortalama spektral hatası (RASE)
- ERGAS
- Uzamsal
- Korelasyon Katsayısı (CC)
- Spektral Bilgi Farklılığı (SID)

2.1 Örnekleme Yöntemleri

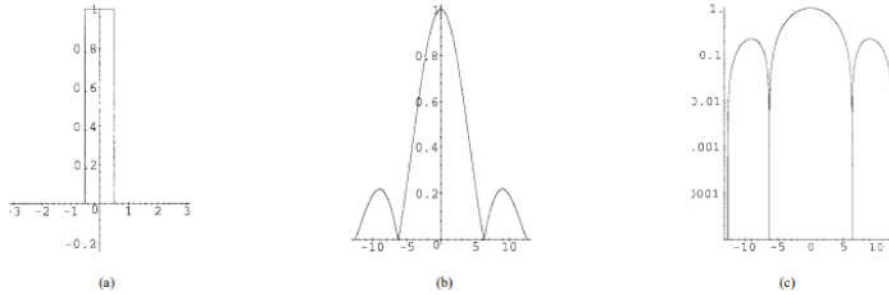
Örnekleme/interpolasyon terimi ilk kez Uygulamalı Matematik biliminin bir alt kategorisi olarak ortaya atılmıştır. Sayısal Analiz yöntemlerinde tanımlı olan ve değeri bilinen noktalardan yola çıkarak bu noktalar arasında, farklı bir lokasyonda bulunan ve değeri bilinmeyen bir noktanın olası değerini tahmin etmek için kullanılır. Mühendislik yaklaşımlarında interpolasyon teknikleri elde bulunan mevcut veriyi kullanarak veride bilinmeyen ara değerlerin hesaplanması amacıyla kullanılmaktadır [14], [18], [32], [15].

Uydulardan elde edilen çoklu spektral görüntülerde perspektif bilgisi ve atmosferik kayıplardan kaynaklanan spektral bozulmalar mevcuttur. Bu bozulmalar pankromatik ve çoklu spektral görüntünün füzyon edilmesi sonucu elde edilen görüntülerde mekânsal ve spektral çözünürlüğün istenilen aralığın altında kalmasına sebep olur. Bunun yanında pankromatik ve çoklu spektral görüntü boyutları (içerdikleri piksel sayısı) birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bu bozulmaların ve görüntüler arasındaki boyut farklılıklarının önüne geçebilmek amacıyla çoklu spektral görüntü renk uzayı koordinatı üzerinde yukarı örneklenir. [44] [11] ve [39] araştırmalarında da üzerinde durulduğu gibi, literatürde örnekleme kullanım alanına göre değişkenlik göstermekte ve interpolasyon teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Görüntü işleme alanında interpolasyon teknikleri kullanılarak görüntüler büyütülerek ya da küçültülerek içerdikleri mekânsal çarpıklar düzeltilerek ve çözünürlüğü artırılarak görüntü kalitesi artırılır. Sayısal görüntünün örnekleme aralığı görüntülenebilecek en yüksek frekansı ile belirlenir. Bu frekansa Nyquist Frekansı denir. Bu frekans değeri sayısallaştırılmış görüntünün uzaysal çözünürlüğünü belirler, sayısallaştırma seviyesi sayısallaştırılmış görüntüdeki gri seviyelerin sayısını belirler. Örneklenen görüntünün büyüklüğü, görüntü işlemede dijital bir değer olarak ifade edilir. Literatürde örnekleme sırasında yaygın olarak kullanılan interpolasyon teknikleri Nearest, Bilinear, Bicubic, Lanczos, Triangle ve Box yöntemleridir. Bu tez çalışmasında başvuru olan interpolasyon teknikleri ise Nearest, Bilinear ve Bicubic yöntemleri olup bu bölümde ayrıntılarına yer verilecektir.

2.1.1 En yakın komşu interpolasyonu (Nearest)

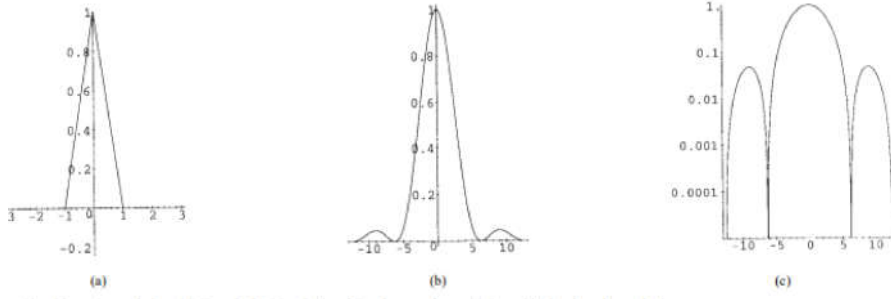
Literatür genelinde bu yöntem "sıfır sıra interpolasyonu" olarak da isimlendirilmektedir. En yakın komşu interpolasyonunda temel olarak görüntüde bulunan pikseller artırılır. Artırma işlemi esnasında eklenen pikselin değerine, o piksele en yakın bulunan pikselin değeri atanır. Yapılan bu örnekleme işlemi orjinal görüntü verisinin genliği 1 olan dikdörtgen fonksiyonu ile evrişimiyle eşdeğerdir (Şekil 2.1). Zaman alanında yapılan evrişim işlemi frekans alanında Sinc fonksiyonu ile çarpıma karşılık gelmektedir. [22]. En yakın komşu interpolasyonu, sayısal olarak verimli olmakla birlikte, bilinear veya bikubik interpolasyonlarına kıyasla doğru sonuçlar üretmemektedir. Görüntüdeki keskin kenarları korumak amacıyla kullanılır.



Şekil 2.1: (a) En yakın komşu interpolasyon fonksiyonu, (b) fonksiyonun Fourier dönüşümü ve (c) Fourier dönüşümün logaritması

2.1.2 Çift yönlü doğrusal interpolasyon (Bilinear)

Bilinear interpolasyon yöntemi bir görüntüyü yeniden boyutlandırmak için kullanılan adaptif olmayan bir yöntemdir. Görüntüdeki piksel sayısının artırılması ve azaltılması ile görüntünün yukarı ya da aşağı örnekleme yapılmasını sağlar. Yöntemde temel olarak yeni pikselin değeri, kendisine yakın olan 4 pikselin değerlerinin ortalaması olarak belirlenir. Yapılan bu örnekleme işlemi orjinal görüntü verisinin genliği 1 olan üçgen fonksiyonu ile evrişimiyle eşdeğerdir[22].

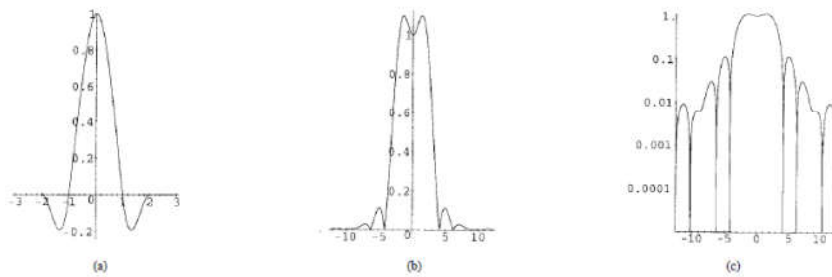


Şekil 2.2: (a) Çift yönlü doğrusal interpolasyon fonksiyonu, (b) fonksiyonun Fourier dönüşümü ve (c) Fourier dönüşümün logaritması

En yakın komşu interpolasyonu ile karşılaştırıldığında daha fazla piksel değerine bakarak yeni pikselin değer ataması yapıldığı için yüksek başarılı sonuçlar üretmektedir. Bunun yanında daha fazla işlem zamanına ihtiyaç duymaktadır [30].

2.1.3 Çift yönlü kübik interpolasyon (Bicubic)

Bu yöntem kübik interpolasyon yönteminin iki boyutta örnekleme yapabilme kabiliyetine sahip olan gelişmiş halidir. Kübik interpolasyon tekniğinde oluşturulacak yeni pikselin değerine karar verilirken iki boyuttaki en yakın 16 pikselin değeri baz alınarak hesaplamalar yapılır. 16 komşu piksele olan uzaklık hesaplanmasında en yakın olan piksele daha yüksek ağırlık atanır. Yöntemin temeli mevcut veri kümesinin üçüncü dereceden bir denklem ile ifade edilmesi ve hesaplanacak yeni noktaların bu eğriye uydurulması işlemine dayanır.



Şekil 2.3: (a) Çift yönlü kübik interpolasyon fonksiyonu, (b) fonksiyonun Fourier dönüşümü ve (c) Fourier dönüşümün logaritması

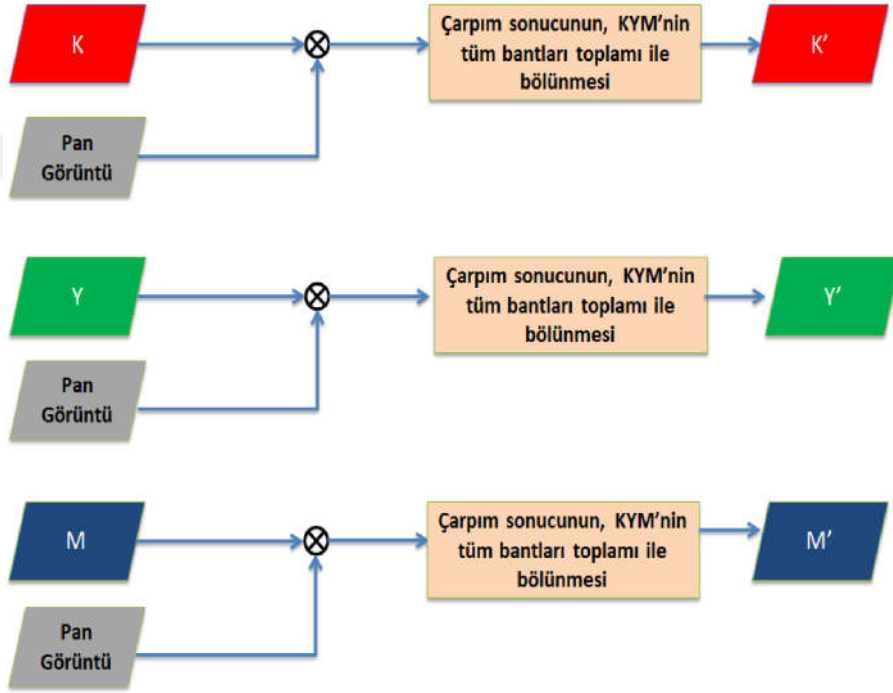
Bu metot ile elde edilen interpolasyonlu yüzey, yukarıda belirtilen en yakın komşu ve Bilinear metotlardan elde edilen yüzeylerden daha yumuşaktır. Yukarıda tanımlanan iki yönteme göre hesaplamalar daha fazla ve karmaşık olduğundan işlem hızı oldukça yüksektir.

2.2 Pankeskinleştirme Yöntemleri

2.2.1 Brovey

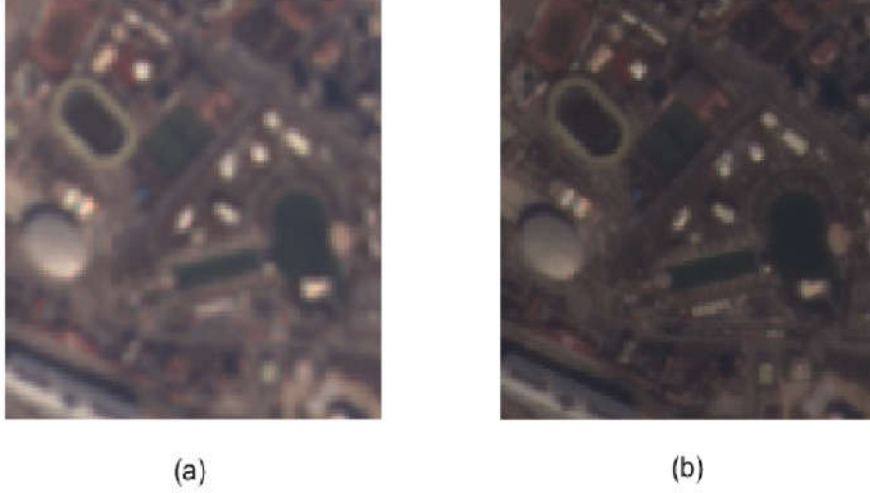
Brovey bu alanda yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılan piksel bazında bir füzyon yöntemidir [6] [10]. Yöntemde her spektral bant Pan bant ile çarpılır ve çarpım sonucu çoklu spektral görüntüdeki spektral bantların (RASAT için kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere 3 bant) toplamına bölünür. Keskinliği ve renk bilgisini ön plana çıkartan bir yöntem olmasının yanında görüntünün spektral çözünürlüğünün korunmasında diğer metotlara göre başarısızdır. Çoklu spektral görüntü bant sayısı BS iken (i,j) indeksli herhangi bir piksel için yöntemin matematiksel modeli şu şekilde olup yöntemin akış şeması Şekil 2.4'deki gibidir.

$$KeskinMS_t(i, j) = \frac{BSPan(i, j)MS_t(i, j)}{\sum_t MS_t(i, j)} \quad (2.1)$$



Şekil 2.4: Brovey yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Brovey yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.1'deki gibidir.



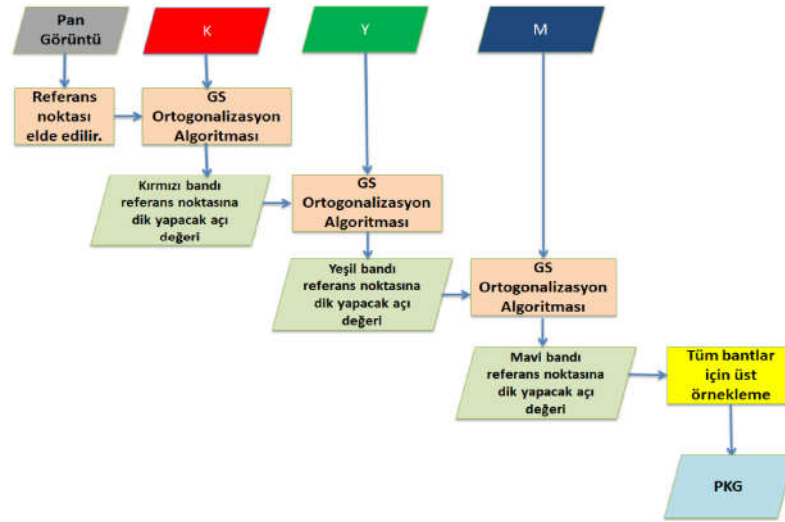
Resim 2.1: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) Brovey metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.2 Gramm-Schmidt (GS)

Bu yöntemde diğer yöntemlerden farklı olarak çoklu spektral görüntü interpolasyon teknikleri kullanılarak örneklenmez. İlk aşama olarak çoklu spektral görüntünün lineer kombinasyonu alınır. Bu işlem çıktısı olarak düşük çözünürlüklü pankromatik görüntü benzetimi elde edilir. Sonrasında bu pankromatik görüntü ilk bant olarak atanır ve Gramm-Schmidt dikgen algoritması ile tüm bantlar ortogonal hale getirilir [21] [27]. Yöntemin adımları sırasıyla şu şekildedir:

- Kırmızı bant ile Pan bandı birbirleriyle ortogonal yapacak açı değeri hesaplanıp bu değer doğrultusunda kırmızı bant görüntü uzayı boyunca kaydırılır.
- Yeşil bant ile Pan bandı birbirleriyle ortogonal yapacak açı değeri hesaplanıp bu değer doğrultusunda yeşil bant görüntü uzayı boyunca kaydırılır.
- Mavi bant ile Pan bandı birbirleriyle ortogonal yapacak açı değeri hesaplanıp bu değer doğrultusunda mavi bant görüntü uzayı boyunca kaydırılır.
- Yeşil bant kırmızı ve Pan banda ortogonal olacak şekilde döndürülür.
- Mavi bant ise Pan, yeşil ve kırmızı bantlara dik olacak şekilde döndürülür. Bu sayede tüm bantlar ilintisizleştirilir.
- Üretilmiş Pan görüntü ile gerçek Pan görüntünün yerleri değiştirilir ve tüm bantlar yukarı örneklerek pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

Yöntemin akış şeması Şekil 2.5'deki gibidir.



Şekil 2.5: Gramm-Schmidt yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Gramm-Schmidt yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.2'deki gibidir.



Resim 2.2: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) Gramm-Schmidt metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.3 Hiperküre Renk Uzayı (HCS)

Literatürde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde ilk adım olarak 3 banda sahip olan çoklu spektral görüntü Hiperküre renk uzayında ifade edilir. Bu renk uzayı üzerinde pankromatik ve çoklu spektral görüntünün yoğunluk görüntü eşleştirilmesi yapılarak görüntüler füzyon edilir. Füzyon edilmiş bu görüntü ters hiperküre renk uzayı algoritması ile RGB renk uzayına tekrar dönüştürülerek Pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir [28] [19]. Algoritmanın çalışma adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

1. 3 banda sahip olan RASAT çoklu spektral görüntünün (i,j) indeksli herhangi bir

pikseli için RGB uzayından HCS uzayına geçiş algoritması aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 I &= \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \\
 \phi_1 &= \arctan\left(\frac{\sqrt{G^2 + B^2}}{R}\right) \\
 \phi_2 &= \arctan\left(\frac{B}{G}\right)
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Denklem 2.2’de verilen I değişkeni pankeskinleştirme yoğunluk katsayısı, ϕ_1 ve ϕ_2 ise kırmızı, yeşil ve mavi bantların hiperküre üzerindeki izdüşümlerini ifade eden açı değerleri olarak tanımlanır.

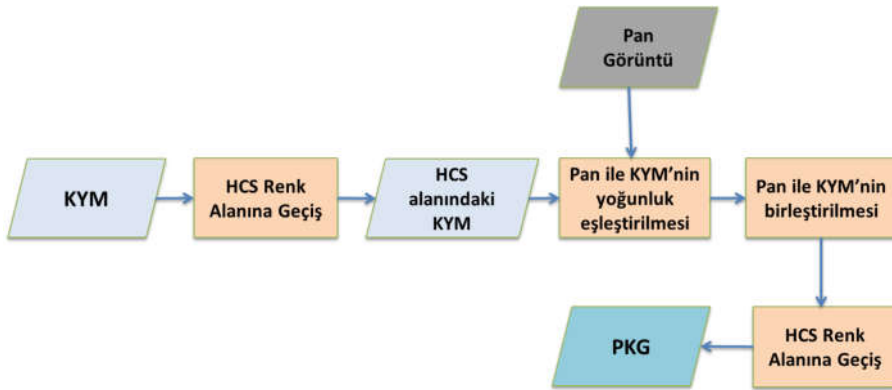
2. HCS renk uzayı üzerinde aşağıdaki formülizasyonlardan faydalanılarak yeni bir pankeskinleştirme yoğunluğu olarak ifade edilen I_{yeni} değişkeni hesaplanır.

$P^2 = Pan_{RGB}^2$ olmak üzere;
 σ_{I^2} : I^2 ’nin standart sapması,
 σ_{P^2} : P^2 ’nin standart sapması,
 μ_{I^2} : I^2 ’nin ortalaması,
 μ_{P^2} : P^2 ’nin standart sapması olarak tanımlansın.

$$I_{yeni} = \sqrt{\frac{\sigma_{I^2}}{\sigma_{P^2}} (P^2 - \mu_{P^2} + \sigma_{P^2}) + \mu_{I^2} - \sigma_{I^2}} \tag{2.3}$$

3. Son adım olarak Hiperküre renk uzayından RGB renk uzayına Denklem 2.4 kullanılarak geçilir ve pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

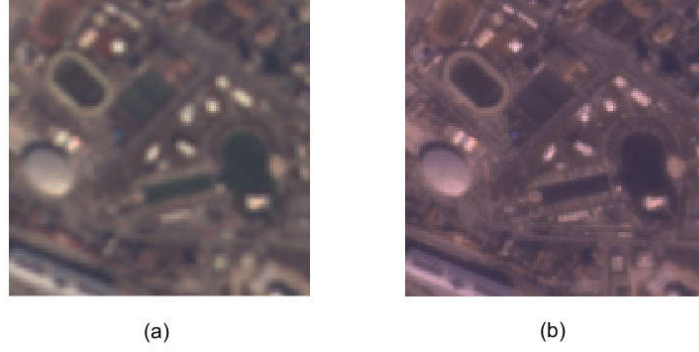
$$\begin{aligned}
 R &= I_{yeni} \cos \phi_1 \\
 G &= I_{yeni} \sin \phi_1 \cos \phi_2 \\
 B &= I_{yeni} \sin \phi_1 \sin \phi_2 \cos \phi_2
 \end{aligned} \tag{2.4}$$



Şekil 2.6: Hiperküre Renk Uzayı yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Hiperküre Renk Uzayı yön-

temi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.3'deki gibidir.



Resim 2.3: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HCS metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.4 HCS Smart (HCS-S)

Bu yöntemde HCS yönteminden farklı olarak hesaplamalarda pankromatik ve çoklu spektral görüntü arasındaki yoğunluk katsayısı farkı da göz önünde bulundurulur. Bu farkın algoritmada baz alınması ile renk bilgisini korumada HCS yöntemine göre daha yüksek başarımlar elde edilmektedir. Algoritmanın akış diyagramı HCS yöntemi akış diyagramıyla aynıdır. Yöntemin çalışma adımları ise sırasıyla aşağıdaki gibidir.

1. İlk adım olarak pankromatik görüntü 7×7 boyutunda kare konvolüsyon pencere filtresinden geçirilerek pürüzsüzleştirilir.
2. Denklem 2.2'de verilen akış takip edilerek çoklu spektral görüntü HCS renk uzayına dönüştürülür.
3. HCS renk uzayı üzerinde pürüzsüzleştirilmiş Pan baz alınarak ve aşağıdaki denklemlerden yararlanılarak yeni bir pankeskinleştirme yoğunluğu olarak ifade edilen I_{yeni} değişkeni hesaplanır.

$P^2 = Pan_{RGB}^2$ olmak üzere;

$PS^2 = PanSmooth_{RGB}^2$ olmak üzere;

σ_{I^2} : I^2 'nin standart sapması,

σ_{PS^2} : PS^2 'nin standart sapması,

μ_{I^2} : I^2 'nin ortalaması,

μ_{PS^2} : PS^2 'nin standart sapması olarak tanımlansın.

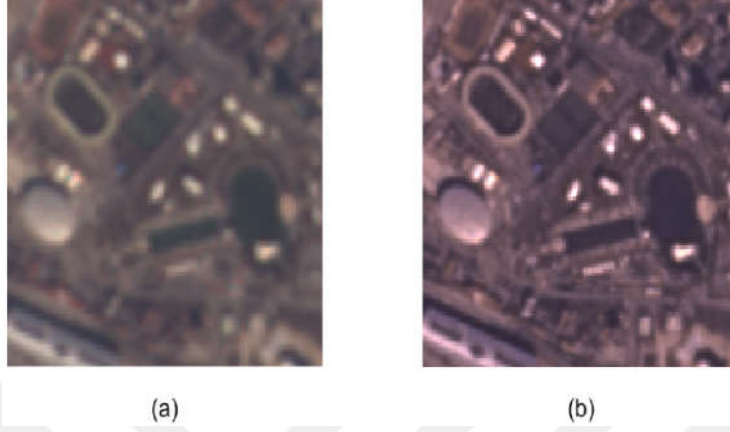
$$PS^2 = \frac{\sigma_{I^2}}{\sigma_{PS^2}}(PS^2 - \mu_{PS^2} + \sigma_{PS^2}) + \mu_{I^2} - \sigma_{I^2}$$

$$P^2 = \frac{\sigma_{I^2}}{\sigma_{P^2}}(P^2 - \mu_{P^2} + \sigma_{P^2}) + \mu_{I^2} - \sigma_{I^2} \quad (2.5)$$

$$I_{yeni} = \sqrt{\frac{P^2}{PS^2} I^2}$$

4. Hesaplanan yeni yoğunluk katsayısı ile Denklem 2.4'te verilen denklemler kullanılarak RGB alanına geçilir ve pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Akıllı Hiperküre Renk Uzayı yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.4'teki gibidir.



Resim 2.4: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HCS-S metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.5 Yoğunluk Renk Doyumu (IHS)

IHS yönteminde temel olarak çoklu-spektral görüntü yoğunluk (I), ton (H) ve doygunluk (S) bileşenlerine dönüştürülür. Bir sonraki adım, Pan görüntüsünün çoklu spektral görüntünün yoğunluk bileşeniyle aynı ortalama ve değışintiye sahip olacağı şekilde ölçeklendirilmesidir [40], [23], [3], [5]. Yoğunluk bileşeni, uygun bir şekilde ölçeklendirilmiş Pan görüntü ile yer değıştirilir ve son olarak füzyon edilmiş görüntüyü elde etmek için ters IHS dönüşümü alınır. IHS yöntemi, genellikle yüksek uzamsal doğruluğu olan, ancak spektral bozulma içeren görüntüler üretir. Algoritmanın çalışma adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir:

1. RGB renk uzayında ifade edilen çoklu spektral görüntü Denklem 2.6 baz alınarak IHS renk uzayında temsil edilir.

$$\begin{bmatrix} I \\ H \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{2\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

2. Hesaplanan yoğunluk katsayısı ve çoklu spektral görüntünün ortalama ve standart sapmaları üzerinden Pan görüntü yeniden ölçeklendirilir.

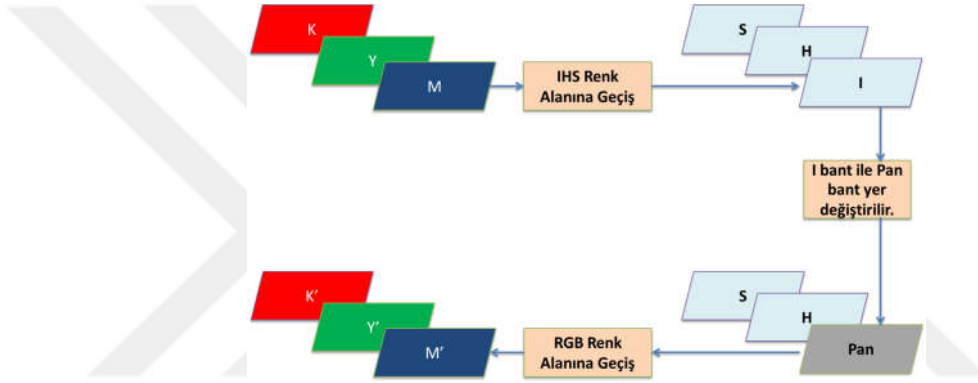
σ_I : I matrisinin standart sapması
 σ_P : P matrisinin standart sapması,
 μ_I : I matrisinin ortalaması

μ_P : P matrisinin ortalaması olarak verilsin.

$$P = \frac{\sigma_I}{\sigma_P}(P - \mu_P) + \mu_I \quad (2.7)$$

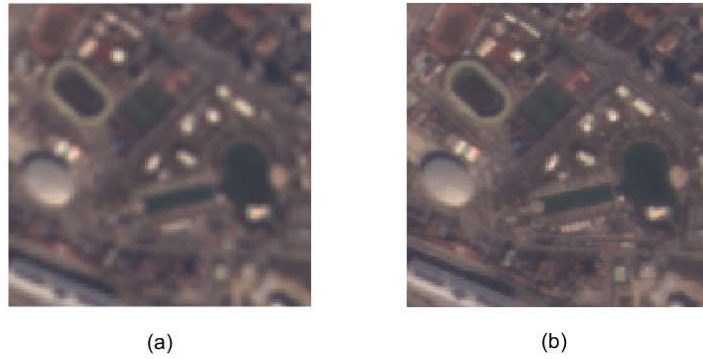
3. IHS uzayında tanımlanan koordinat elementlerinden yoğunluk katsayısı ile ölçeklendirilmiş Pan yer değiştirilir. Elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntünün ters IHS dönüşümü ile orijinal renk uzayında tanımlanması ile füzyon işlemi tamamlanmış olur.

$$\begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + P - I \\ G + P - I \\ B + P - I \end{bmatrix} \quad (2.8)$$



Şekil 2.7: Yoğunluk Renk Doyum yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Yoğunluk Renk Doyum yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.5'teki gibidir.

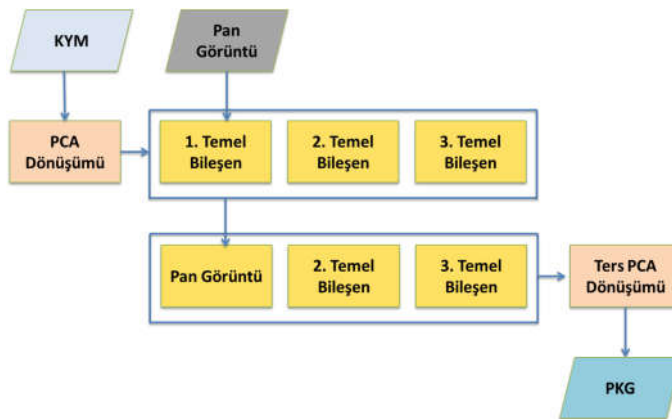


Resim 2.5: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) IHS metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.6 Temel Bileşen Analizi (PCA)

Bu yöntem ilk olarak Karl Pearson [31] ve Harols Hotelling [13] tarafından 1901 ve 1930 yıllarında ortaya konulmuştur. Uzaktan algılama, istatistik, sinyal işleme, sayısal görüntü işleme, veri madenciliği ve makine öğrenmesi gibi pek çok alanda geniş çapta kullanım alanı bulmuştur. Son dönemlerde özellikle makine öğrenme alanında çok boyutlu verilerin işlenmesi ve anlamlandırılması için gerekli olan özneliklerin çıkarımı ve veri kaybının önlenmesi için gerekli olan veri boyutunun azaltılması işlemlerinde bu yöntemden faydalanılmaktadır. Ortogonal dönüşümü temel alan bu yöntemde pankeskinleştirilmiş görüntü sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanarak elde edilir.

1. Birbirleri ile korelasyon içerisinde bulunan bantlara sahip çoklu spektral görüntü, öncelikle içerdiği piksel sayıların çarpımı boyutunda bir vektör olarak ifade edilir.
2. Bu vektör üzerinden PCA dönüşümü hesaplanarak görüntüye ait temel bileşenler elde edilir. Temel bileşen sayısı çoklu spektral görüntünün bant sayısı kadar olmalıdır.
3. Pan bandın histogram eşitlemesi ortalaması ve standart sapması ilk temel bileşen ile çakışacak biçimde yapılır. En yüksek varyans değerine sahip olan 1. temel bileşen ile mekânsal çözünürlük bilgisi fazla olan bu pankromatik görüntü yer değiştirir.
4. Diğer temel bileşenler ise 1.temel bileşenden sonra olabilecek maksimum limitte varyans değeriyle ve diğer temel bileşenlere dik olacak biçimde Ortogonalizasyon işlemine tabi tutulur.
5. Bir önceki adımda ortogonal hale getirilmiş temel bileşenler Ters Temel Bileşen analizi yöntemiyle yeniden RGB renk uzayında ifade edilerek pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir.



Şekil 2.8: Temel Bileşen Analizi yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Temel Bileşen Analizi yöntemi

test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.6'daki gibidir.

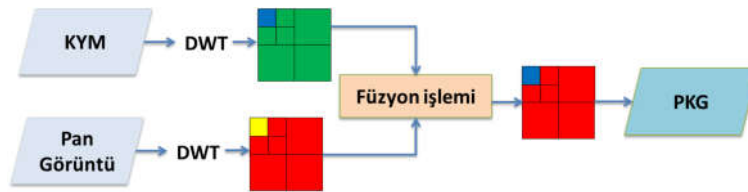


Resim 2.6: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) PCA metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.7 Dalgacık Dönüşümü

İlk kez görüntü sıkıştırma ve gürültü gibi istenmeyen bileşenlerin uzaklaştırılmasında kullanılan ve başarı oranı yüksek olan bir yöntem olarak literatürde yer bulmuştur. Wavelet dönüşümü ile görüntü verisi içerdiği farklı lokal frekans değerlerine göre farklı alt küme görüntülere ayrıştırılır. Ayrıştırılan her bir görüntü farklı çözünürlük katmanına sahiptir. Farklı çözünürlük katmanlarının yöntem girdi olarak verilmesinden ötürü bu yöntem hem frekans hem de zaman alanında güçlü lokalizasyon bilgisini çıktı olarak üretmektedir.

Uydu görüntülerinin füzyon edilmesinde [35], [37], [19] ve [20] çalışmalarında kullanılmış ve uzamsal olarak başarı yüzdesinin düşük olduğu renk bilgisini korumada ise diğer yöntemlere kıyasla ileride kaldığı gözlemlenmiştir. Temel fikir, hem çoklu-spektral görüntünün hem de pankromatik görüntünün ayrı dalgacık dönüşümünü almaktır. Bir sonraki adım, MS görüntüsünün yaklaşık katsayılarını korumak ancak detay katsayılarını pankromatik görüntüden elde edilen katsayılarla değiştirmektir.



Şekil 2.9: Wavelet yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Dalgacık yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.7'deki gibidir.



Resim 2.7: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) Wavelet metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.8 Yüksek Geçiren Filtre (HPF)

Mekânsal çözünürlüğü yüksek olan pankromatik görüntünün yüksek geçiren özel bir filtreden geçirilmesini temel alan bir yöntemdir. Kullanılacak olan yüksek geçiren filtrenin boyutu şu şekilde hesaplanır [9].

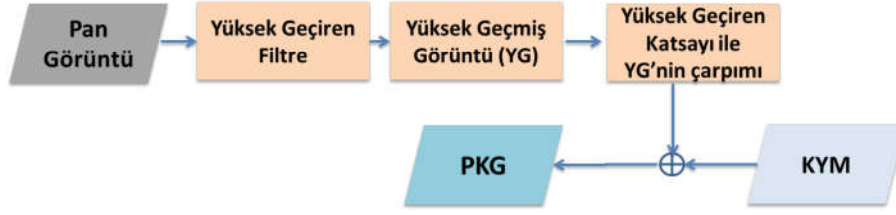
r : Pankromatik görüntü ile çoklu-spektral görüntünün uzamsal çözünürlükleri arasındaki oran olarak tanımlansın.

$$\begin{aligned} \text{Filtre Boyutu} &= (2r + 1) \times (2r + 1) \\ \text{Filtre Merkez Eleman} &= (2r + 1) * (2r + 1) - 1 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Rasat uydusu için r parametresinin değeri 2'dir. Dolayısıyla RASAT pankromatik uydu görüntüsüne uygulanacak olan yüksek geçiren filtre 5×5 boyutunda olmalıdır. Tasarlanan yüksek geçiren filtrede merkez eleman dışında bütün elemanların değeri -1 merkez elemanın değeri ise yukarı tanımlanan denklem doğrultusunda 24 olmalıdır. Yöntemde baz alınan yüksek geçiren filtre aşağıdaki gibidir.

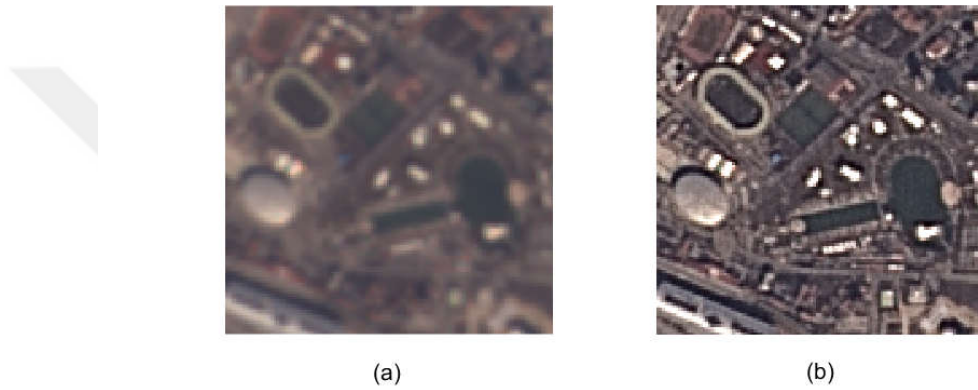
$$HPF = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 24 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Pankromatik görüntü yukarıda tanımlanan filtreden geçirildikten sonra elde edilen keskinleşmiş pankromatik görüntü çoklu-spektral görüntü ile füzyon edilir. Keskinliği ön plana çıkaran yöntemlerin başında yer alan bu metodun akış şeması aşağıdaki şekilde şematize edilmiştir.



Şekil 2.10: Yüksek Geçiren Filtre yöntemi akış diyagramı

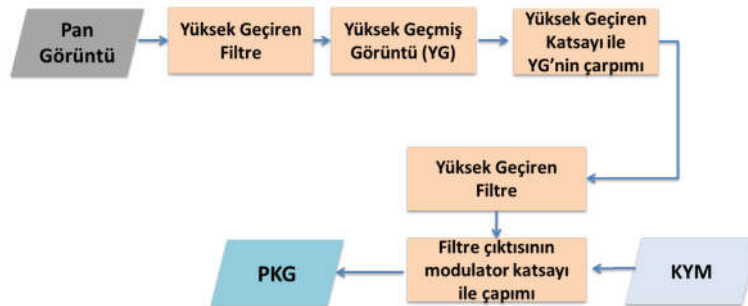
Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Yüksek Geçiren Filtre yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.8'deki gibidir.



Resim 2.8: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HPF metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

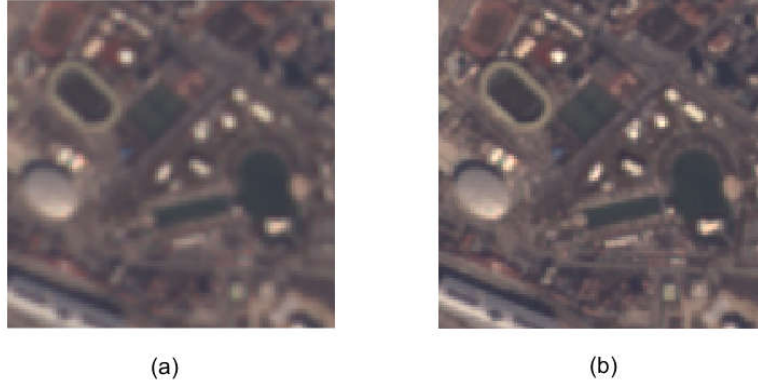
2.2.9 Optimize Yüksek Geçiren Filtre (Opt. HPF)

Bu yöntem HPF yönteminin optimize edilmiş, ürettiği çıktı görüntüler baz alındığında ise hem spektral hem de uzamsal çözünürlüğü HPF yöntemine göre daha yüksek başarımlar üretmiş versiyonu olarak tanımlanmaktadır. HPF yöntemindeki aşamalara ek olarak pankromatik görüntüye iki kez filtre uygulanmaktadır [38]. Yöntemin akış diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.11: Optimize Yüksek Geçiren Filtre yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Optimize Yüksek Geçiren Filtre yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslanması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.9'daki gibidir.



Resim 2.9: Ankara çoklu spektral görüntü ve Opt. HPF metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.10 Renk Doyum Değeri (HSV)

İnsanın görü kavramına en yakın olarak simüle edilmiş renk uzayı olan renk doyum değeri uzayı 3 adet bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler sırasıyla renk özü, doygunluk ve parlaklık olarak tanımlanmaktadır [11] [7]. Renk özü görüntü içerisinde en baskın olan rengin dalga boyu olarak tanımlanmaktadır. Doygunluk görüntüde var olan renklerin belirginliği, parlaklık ise görüntüdeki renklerin aydınlığı olarak nitelendirilmektedir. Algoritmanın çalışma adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

1. RGB renk uzayında ifade edilen çoklu-spektral görüntü Denklem 2.10 baz alınarak HSV renk uzayında temsil edilir [36].
 $R, G, B \in \{0, 1\}$ ve $H \in \{0, 360\}$, $S, V \in \{0, 1\}$

$$H = \begin{cases} \text{Tanımsız} & , \max\{R, G, B\} = \min\{R, G, B\} \\ 60 \frac{G - B}{\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\}} & , \max\{R, G, B\} = R \text{ ve } G \geq B \\ 60 \frac{G - B}{\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\}} + 360 & , \max\{R, G, B\} = R \text{ ve } G < B \\ 60 \frac{B - R}{\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\}} + 120 & , \max\{R, G, B\} = G \\ 60 \frac{B - R}{\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\}} + 240 & , \max\{R, G, B\} = B \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0 & , \max\{R, G, B\} = 0 \\ \frac{\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\}}{\max\{R, G, B\}} & , \max\{R, G, B\} \neq 0 \end{cases}$$

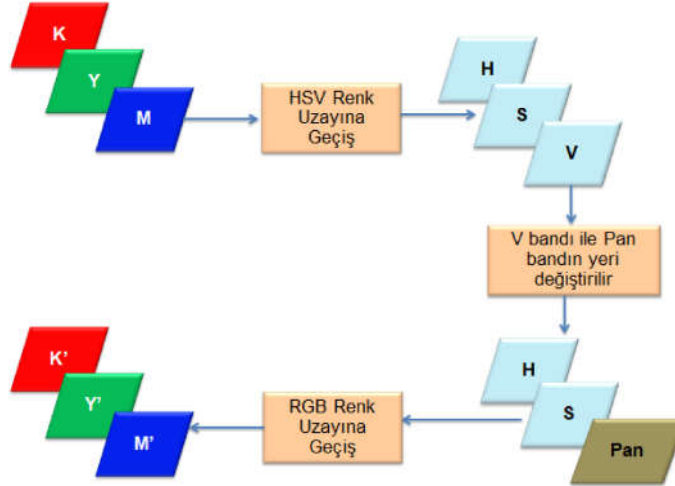
$$V = \max\{R, G, B\}$$

(2.10)

2. HSV renk uzayında temsil eden çoklu spektral görüntünün 3. bandı V bandı ile RGB renk uzayındaki pankromatik görüntü yer değiştirilir. Böylece pankromatik görüntüden gelen mekânsal çözünürlük bilgisi görüntüye füzyon edilmiş olur.
3. Füzyon edilmiş bu görüntü ters HSV dönüşümü ile yeniden RGB uzayına dönüştürülerek pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilmiş olur. Ters HSV dönüşümü Denklem 2.11 kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$\begin{aligned}
 H_i &= \frac{H}{60} \pmod{6} \\
 f &= \frac{H}{60} - H_i \\
 p &= V(1 - S) \\
 q &= V(1 - fS) \\
 t &= V(1 - (1 - f)S)
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

eğer $H_i = 0 \Rightarrow R = V, G = t, B = p$
eğer $H_i = 1 \Rightarrow R = q, G = V, B = p$
eğer $H_i = 2 \Rightarrow R = p, G = V, B = t$
eğer $H_i = 3 \Rightarrow R = p, G = q, B = V$
eğer $H_i = 4 \Rightarrow R = t, G = p, B = V$
eğer $H_i = 5 \Rightarrow R = V, G = p, B = q$



Şekil 2.12: Renk Doyum Değeri yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Renk Doyum Değeri yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.10'daki gibidir.



Resim 2.10: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) HSV metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

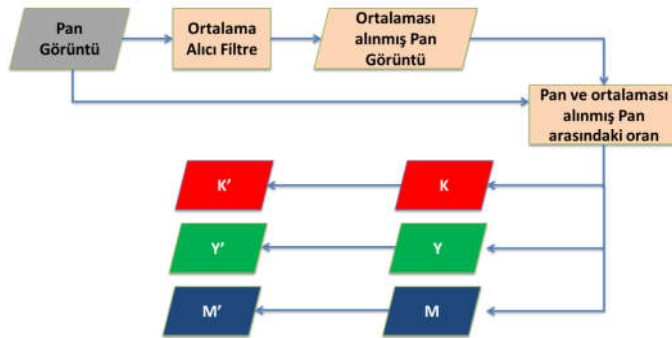
2.2.11 Yumuşatıcı Filtre Temelli Yoğunluk Modülasyonu (SFIM)

Pankromatik görüntünün ortalama alıcı özel bir filtreden geçirilmesini temel alır. Kullanılacak olan ortalama alıcı filtrenin boyutu şu şekilde hesaplanır [25].

r : Pankromatik görüntü ile Çoklu-spektral görüntünün uzamsal çözünürlükleri arasındaki oran olarak tanımlansın.

$$\text{Filtre Boyutu} = (r) \times (r) \quad (2.12)$$

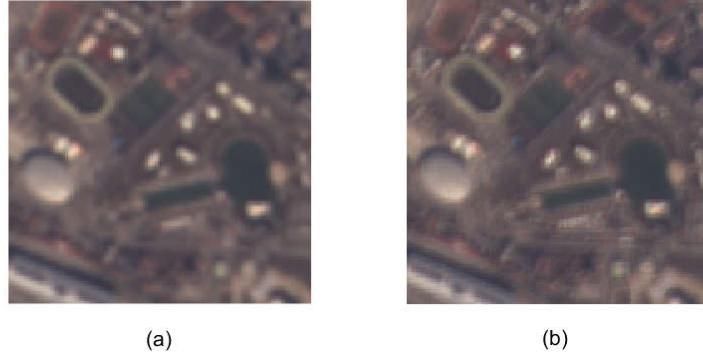
Rasat uydusunun pankromatik uzamsal çözünürlüğü 15 m ve çoklu spektral uzamsal çözünürlüğü 7.5 m olduğundan r parametresinin değeri 2'dir. Dolayısıyla RASAT pankromatik uydu görüntüsüne uygulanacak olan ortalama alıcı filtre 2×2 boyutunda ve bütün elemanların değeri 0.25 olmalıdır. Pankromatik görüntü tanımlanan filtreden geçirilerek yumuşatılır. Yumuşatılmış pankromatik görüntü ile orijinal pankromatik görüntü arasındaki oran kırmızı, yeşil ve mavi bantlar ile çarpılır. Çarpım sonucu elde edilen yeni kırmızı, yeşil ve mavi bantlar birleştirilerek pankeskinleştirilmiş görüntü elde edilir.



Şekil 2.13: Yumuşatıcı Filtre Temelli Modülasyon yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Yumuşatıcı Filtre Temelli Modülasyon yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel

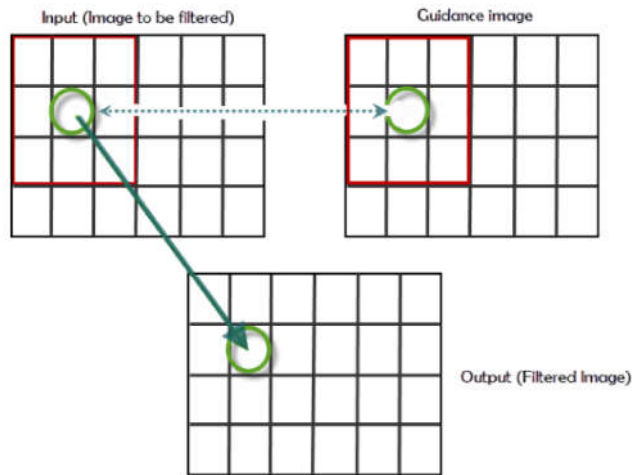
kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.11'deki gibidir.



Resim 2.11: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) SFIM metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.2.12 Kılavuz Filtre Yöntemi (GF)

Kılavuzlu filtre, kenar koruyucu bir yumuşatma işleci olarak görüntü işleme problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemde girdi olarak kullanılan kılavuz görüntü görüntünün kendisi, görüntünün örneklenmiş hali veya farklı bir görüntü olarak tercih edilebilmektedir. Teorik olarak iki yönlü filtreleme ve Laplacian matris yöntemiyle örtüşmektedir. İki yönlü filtreleme metoduyla kıyaslandığında kenarlara yakın yerlerde görüntüyü yumuşatma başarımı daha yüksektir. Algoritmanın hesaplama karmaşıklığı filtrenin boyutundan bağımsızdır. Dolayısıyla algoritmanın işlem hızı oldukça yüksektir. Yaklaşık olmayan bir doğrusal zaman algoritmasına sahiptir.[24], [26], [12]. Bu çalışmada kılavuz görüntü Pan görüntü olarak seçilmiştir. Pankeskinleştirilmiş görüntünün pikseli değeri hesaplanırken pankromatik görüntüdeki karşılık gelen mekânsal lokasyonunda bulunan bölgenin istatistiklerini hesaba katar.



Şekil 2.14: Kılavuz Filtre yöntemi akış diyagramı

Ankara veri seti üzerinden alınan alt veri kümesi ile Kılavuz Filtre yöntemi test edilmiş, elde edilen görüntü ile çoklu spektral görüntünün görsel kıyaslaması yapılmıştır. Elde edilen görsel sonuç Resim 2.12'deki gibidir.



Resim 2.12: Ankara (a) çoklu spektral görüntü ve (b) GF metodu ile pankeskinleştirilmiş görüntü

2.3 Sayısal Başarı Ölçütleri

Pankromatik ve çoklu spektral görüntünün kaynaştırılması esnasında başvuru olan füzyon yönteminin geometrik ve spektral çözünürlük kapsamındaki başarımların yüzdesinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme için literatürde çok sayıda sayısal başarımlar ölçütü sunulmaktadır. Kullanılan bu metriklerin bir kısmı hesaplamalarda referans görüntüye ihtiyaç duyarken bir kısmı da referans görüntüye ihtiyaç duymadan sonuç üretmektedir. Referans görüntüyle çalışan metrik sonuçlarının diğer metriklerle kıyasla daha tutarlı olduğu saptanmıştır. Görüntü işlemede kullanılan başarımlar ölçütlerinin listesi Şekil 2.15'de mevcuttur [17].



Şekil 2.15: Görüntü işlemede sıklıkla kullanılan metrikler ve sınıflandırılması

Üretilen pankeskinleştirilmiş görüntünün kullanıldığı çalışma alanına bağlı olarak metriklerin sayısal limit değerleri de önem arz etmektedir. Metrikler referans ve yakınsaması beklenen değerleri Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

Çizelge 2.1: Referans görüntüye ihtiyaç duyan metrikler, referans ve yakınsaması beklenen değerleri

Metrikler	Referans Değeri	Yakınsaması Beklenen Değer
RMSE	[0 – ~]	0
SAM	[0 – ~]	0
QAVE	[0 – 1]	1
RASE	[0 – ~]	0
ERGAS	[0 – ~]	0
Uzamsal	[0 – 1]	1
CC	[0 – 1]	1
SID	[0 – ~]	0
MB	[0 – 1]	0
PFE	[0 – 1]	0
SNR	[0 – ~]	En yüksek değer
PSNR	[0 – ~]	En yüksek değer
UQI	[0 – 1]	1
SSIM	[0 – 1]	1

Pankeskinleştirme alanında metriklerin değerlendirilmesi için temel olarak 2 yaklaşım ele alınmaktadır. Birinci yaklaşım işlenmemiş çoklu spektral görüntü ile yöntem sonucu füzyon edilmiş ve keskinliği artırılmış görüntünün kıyaslanmasını temel alır. Bu yaklaşımda en çok tercih edilen metrikler RMSE, SAM, QAVE, RASE, ERGAS, Uzamsal, CC ve SID metrikleridir. Tanımlanan ikinci yaklaşımda ise düşük çözünürlüklü çoklu spektral görüntü ile aşağı örneklenmiş Pan görüntünün füzyon edilmesi ile oluşturulan görüntünün orijinal çoklu spektral görüntü ile kıyaslanmasını temel alır. Ortaya konulan bu çalışmada yukarıda ifade edilen birinci yaklaşım baz alınarak elde edilen görüntüler test edilmiş ve başarımlar yüzdeleri elde edilmiştir. Bu başlık altında çalışmada kullanılan sayısal başarımlar ölçütleri tanımlanmaktadır.

2.3.1 Karekök Ortalama Hatası (RMSE)

Bu metrikte hata ortalama büyüklüğünün ölçülmesi baz alınır. Orijinal çoklu spektral görüntü ile pankeskinleştirilmiş görüntü arasındaki farkların spektral ve uzaysal kalitede yorumlanması için tercih edilir.

Bu sayısal başarıml ölçütü Denklem 2.13 gibi tanımlanmaktadır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (X_i(x) - Y_i(x))^2}{n \times m \times d}} \quad (2.13)$$

'X' çoklu-spektral görüntü, 'Y' pankeskinleştirilmiş görüntü, 'x' piksel ve 'i' bant numarasıdır. 'n' satır, 'm' sütun, d ise bant sayısıdır.

2.3.2 Spektral Aç Eşleştiricisi (SAM)

Çoklu spektral resim ve pankeskinleştirilmiş resmin her pikseli arasındaki spektral açığı bakar [43]. Bu açığı değerlerinin ortalaması sıfıra yakın olması idealdir. Bu sayısal başarıml ölçütü Denklem 2.14 gibi tanımlanmaktadır.

$$\cos a = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N y_i^2}} \quad (2.14)$$

'N' bant sayısı, 'x' ve 'y' sırasıyla çoklu spektral ve pankeskinleştirilmiş görüntüdeki piksellerde konumlandırılan spektral vektörlerdir. Bu sayısal başarıml ölçütü her bir piksel üzerinden hesaplanan a değerlerinin ortalamasıdır.

2.3.3 QAVE

Bu metrik spektral bozulmayı 3 faktöre göre inceler. Bu faktörler korelasyon kaybı, parlaklık bozulması ve kontrast bozulmasıdır [42]. Bu metrik sonucunun bire yakın olması idealdir.

Bu sayısal başarıml ölçütü Denklem 2.15 gibi tanımlanmaktadır.

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)|(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2|}$$

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

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

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (2.15)$$

'x' ve 'y' sırasıyla çoklu spektral ve pankeskinleştirilmiş görüntünün satır ve sütun vektörleridir. \bar{x} satır vektörünün \bar{y} ise sütun vektörünün tüm pikseller üzerinden ortalaması olarak tanımlanmaktadır.

2.3.4 Bağıl Ortalama Spektral Hatası (RASE)

Pankeskinleştirilmiş görüntü üzerinden hesaplanan RMSE değerlerinin bantlar üzerinden ortalaması olan bu başarımlık ölçütünün RMSE'de olduğu gibi 0'a yakınsaması beklenmektedir [34].

Bu sayısal başarımlık ölçütü Denklem 2.16 gibi tanımlanmaktadır.

$$RASE = \frac{100}{M} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RMSE^2(B_i)} \quad (2.16)$$

'M' çoklu spektral görüntünün değerleri ortalaması, 'N' bant sayısı, 'B' bant numarası, RMSE kök ortalama kare hatasıdır.

2.3.5 ERGAS

Pankeskinleştirilmiş resimdeki uzamsaldan spektrale geçiş kalitesini ölçer [41]. ERGAS değeri sıfıra ne kadar yakın olursa kalite o kadar yüksek olur.

Bu sayısal başarımlık ölçütü Denklem 2.17 gibi tanımlanmaktadır.

$$RASE = 100 \frac{MS}{Pan} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{RMSE(i)}{\mu(i)} \right)^2} \quad (2.17)$$

'N' bant sayısı, RMSE kök ortalama kare hatası, $\mu(i)$ i'inci bandın ortalamasıdır

2.3.6 Uzamsal

Bu metrik Pan görüntüyle pankeskinleştirilmiş görüntünün her bir bandını yüksek geçiren filtreden geçirip uzamsal benzerliğini karşılaştırır. Bu metrik sonucunun bire yakın olması idealdir. Metriğin hesaplanma adımları aşağıdaki gibidir:

- Pankromatik görüntü ile HPF yöntemindeki filtre formunda tasarlanan 3×3 'lük yüksek geçiren filtre üzerinde evrişim işlemi yapılır.
- Pankeskinleştirilmiş görüntü ile HPF yöntemindeki filtre formunda tasarlanan 3×3 'lük yüksek geçiren filtre üzerinde evrişim işlemi yapılır.
- Evrişim sonunda elde edilen pankromatik ve pankeskinleştirilmiş görüntü arasındaki korelasyon katsayısı hesaplanır.

2.3.7 Korelasyon Katsayısı (CC)

Orijinal çoklu spektral görüntü ile ve pankeskinleştirilmiş görüntü arasındaki benzerliği hesaplar. Bu değerin bire yakın olması benzerliğin maksimum olduğunu ve iki görüntünün birbirleri ile bağıntılı olduğunu gösterir.

Bu sayısal başarımlar ölçütü Denklem 2.18 gibi tanımlanmaktadır.

$$CC(X, Y) = \frac{\sum_{mn} (X_{mn} - \bar{X})(Y_{mn} - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_{mn} (X_{mn} - \bar{X})^2)(\sum_{mn} (Y_{mn} - \bar{Y})^2)}} \quad (2.18)$$

2.3.8 Spektral Bilgi Farklılığı (SID)

Orijinal çoklu spektral görüntü ve pankeskinleştirilmiş görüntü vektör olarak ifade edilir. Görüntülerin her bir pikseli rastgele değişken olarak alır. Daha sonra spektral değerlerin olasılıksal davranış farklılığı göreceli entropiden faydalanılarak ölçülür. Bu değerin sıfıra yakın olması idealdir [4].

Bu sayısal başarımlar ölçütü Denklem 2.19 gibi tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} SID(MS, PS) &= D(MS||PS) + D(PS||MS) \\ D(MS||PS) &= \sum_{i=1}^L p_i \log(p_i/q_i) \\ D(PS||MS) &= \sum_{i=1}^L q_i \log(q_i/p_i) \end{aligned} \quad (2.19)$$
$$p_j = \frac{MS_j}{\sum_{i=1}^N MS_i} \text{ ve } q_j = \frac{PS_j}{\sum_{i=1}^N PS_i} \text{ olarak tanımlansın.}$$

3. BULANIK MASKELEME YÖNTEMİ

Daha önce bahsedilen metotlar, görüntüde var olan detay bilgilerin güçlendirilmesi için kullanılmaktadır. Pankromatik görüntüye uygulanan Bulanık Maskeleme yöntemi ise görüntüdeki keskinliği artırmaktadır. (Denklem 3.3) Öncelikle Gauss filtresi temelli Bulanık Maskeleme Pan görüntüye uygulanır. Görüntü işlemede Gauss filtresi görüntüleri bulanıklaştırmak, yumuşatmak, içerdiği gürültü ve ayrıntı bilgilerini azaltmak için kullanılır. Bu işlemler yapılırken görüntünün içerdiği uzaysal ve mekânsal çözünürlük bilgisini korumaktadır. Bulanık Maskeleme uygulanmış bu Pan görüntü kullanılarak pankeskinleştirme yöntemleri uygulanarak keskinleştirilmiş görüntü elde edilir [38].

Bu metot sigma, ağırlık(weight) ve eşik(threshold) olmak üzere 3 parametreye sahiptir.

- **Sigma** : Verilen piksel ile Gauss fonksiyonunun çekirdek boyutunu belirleyen evrişim matrisinin merkezi arasındaki uzaklığı belirler. Sigma değeri arttıkça görüntüdeki gürültü derecesi de artmaktadır. Sigma parametresinin varsayılan değeri 3 olarak belirlenmiştir.
Kullanılacak olan Gauss filtresinin boyutu $k \sim 2(3(\sigma - 0.8) + 1) + 1$ olarak hesaplanmaktadır. Sigma değerinin varsayılan değeri baz alındığında kullanılacak olan Gauss filtresinin boyutu 16×16 olmalıdır.
- **Ağırlık** : Keskinlik gücünü etkilemektedir. Ağırlık parametre değeri belirli bir limit değeri aşıldığında görüntüde bozulmalara yol açmaktadır. Bu parametrenin varsayılan değeri 0.5 olarak belirlenmiştir.
- **Eşik değer** : Görüntüdeki gürültüyü engellemektedir ve görüntünün dinamik aralığına göre ayarlanabilmektedir. Bu parametrenin varsayılan değeri ise 10 olarak belirlenmiştir.

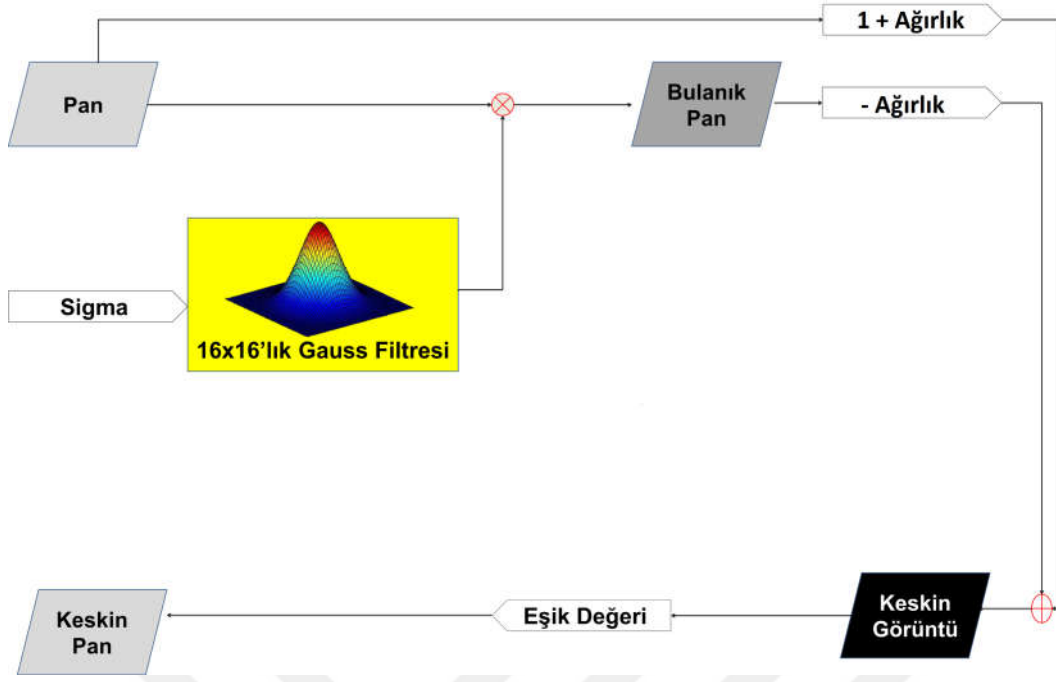
Bulanık Maskeleme yönteminin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir.

$$\text{Bulanık Pan} = \text{Pan} \otimes \text{Gauss Filtresi}$$

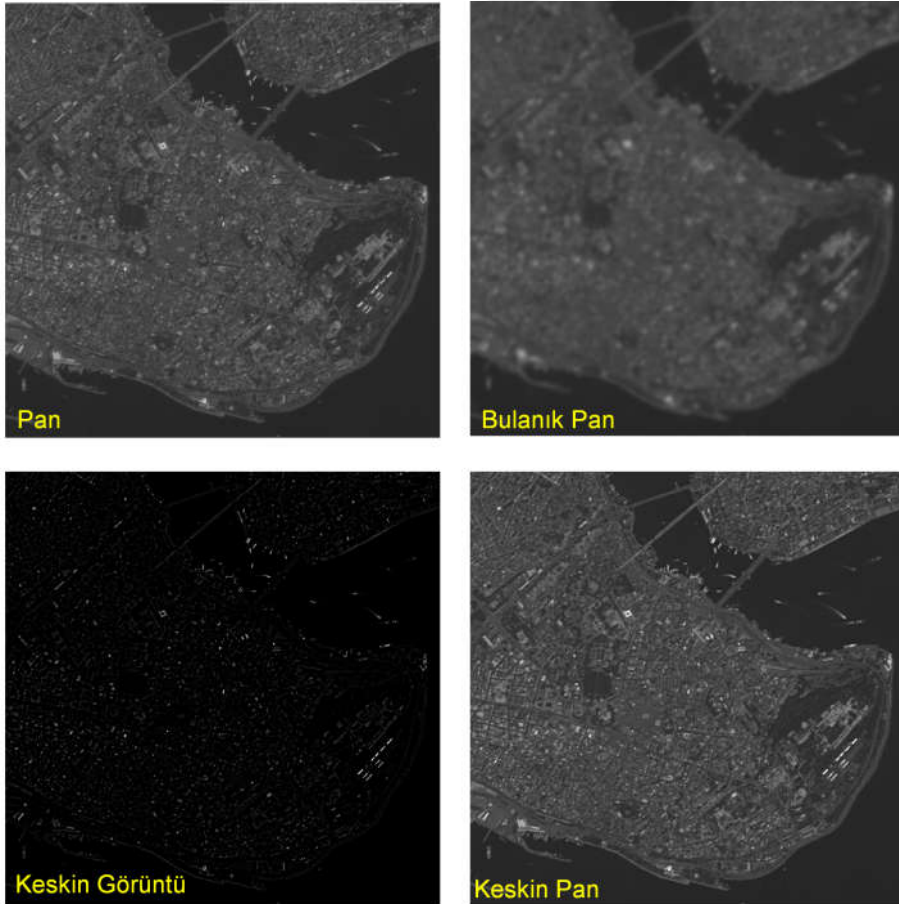
$$\text{Gauss Filtresi} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3.1)$$

$$\text{Keskin Görüntü} = \text{Pan}(1 + \text{ağırlık}) - (\text{Bulanık Pan})(\text{ağırlık}) \quad (3.2)$$

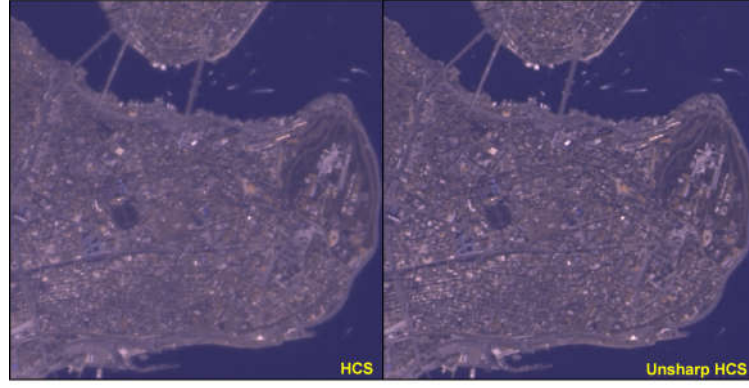
$$\text{Keskin Pan} = (\text{Keskin Görüntü} \leq \text{Eşik} = 0) \quad (3.3)$$



Şekil 3.1: Bulanık Maskeleye yöntemi akış diyagramı



Resim 3.1: İstanbul Bulanık Maskeleye sonucu elde edilen Keskin Pan görüntüsü



Resim 3.2: İstanbul HCS ve Bulanık Maskeleme sonucu elde edilen HCS görüntüsü

Bulanık Maskeleme yöntemi Optimize Yüksek Geçiren Filtre yöntemindeki maskeleme aşamasında kullanılabilir. Elde edilen keskin Pan yeniden örneklenmiş her bir çoklu spektral görüntüye standart sapmalarının birbirlerine oranlarına göre eklenirler (Denklem 3.4). RASAT Pan ve MS bantları arasındaki oran iki kat olduğu için 0.25 ağırlığı ile çarpılır. Çözünürlük farkı dört kat olan uydular için 0.50 oranı hesaplanmaktadır. Aşağıda açıklanan model Optimize HPF yönteminin Bulanık Maskeleme temelli modifikasyonudur.

$$PKG = MS + \left(0.25 \frac{\text{PanÇözünürlük}}{\text{MSÇözünürlük}} \right) \left(\frac{\sigma_{\text{BulanıkPan}}}{\sigma_{MS}} \right) \text{KeskinPan} \quad (3.4)$$



Resim 3.3: İstanbul Optimize HPF ve Bulanık Maskeleme sonucu elde edilen Optimize HPF görüntüsü

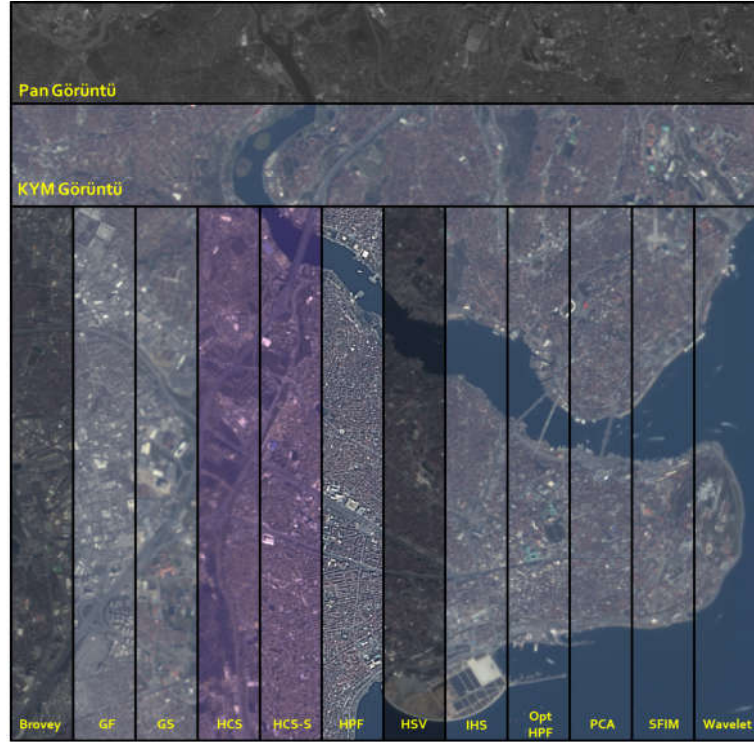


4. SONUÇLAR

Bu bölümde her bir yöntem sonucu elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüye ait görsel ve sayısal başarımlarına yer verilecektir. Yöntemlerin her birinin ön işleme aşamasında Bulanık Maskeleye işlemi pankromatik görüntüye uygulanarak yöntem test edilmiş ve sonuçları da aşağıdaki bölümlerde paylaşılmıştır. Bunun yanı sıra örnekleme metodunun pankeskinleştirme üzerine başarımlarına etkisi test edilmiştir. Bu bölümde öncelikle elde edilen görsel sonuçlara yer verilecek arkasından başarımların kıstası sonuçları ile görsel sonuçlar beraber yorumlanacaktır.

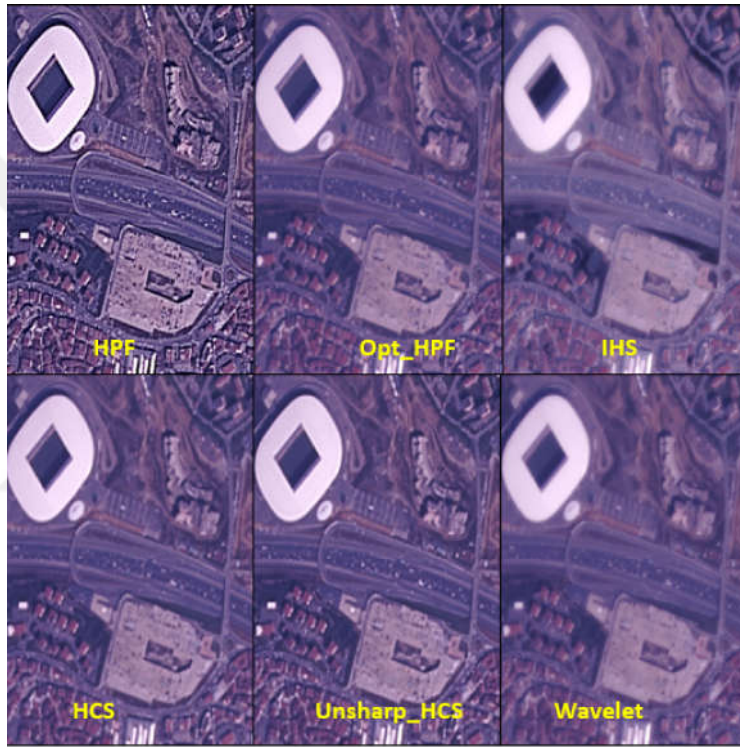
4.1 Görsel Sonuçlar

Bu bölümde paylaşılan görüntüler Ankara, İzmir, İstanbul ve Antalya şehirlerine uydu görüntüleri olup, renk, keskinlik, bulanıklık, yumuşaklık gibi görüntü niteliklerinin daha iyi anlaşılması için görüntüler üzerinden farklı noktalardan alt görüntü kümeleri oluşturulmuştur.



Resim 4.1: İstanbul pankromatik, çoklu spektral ve pankeskinleştirme yöntemleri sonucu elde edilen görüntülerin görsel sonuçları

İstanbul test verisinden elde edilen görsel sonuçlar Resim 4.1’de verilmiştir. İstanbul’a ait yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü, düşük uzamsal çözünürlüğe sahip çoklu spektral görüntü ve 12 farklı metot sonucu elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüler birleştirilerek bir arada görsel olarak ortaya konmuştur. Brovey yönteminin renk bozulmalarını en az içeren yöntem olduğu ancak görüntünün spektral bozulmalar içerdiği gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları Optimize Yüksek Geçiren Filtre yönteminin renk korumasının ve istatistiksel başarısının diğer yöntemlerden üstün olduğunu göstermektedir. Hiperküre renk uzayı ve Hiperküre renk uzayı - Smart yöntemlerinde renk kompozisyonu gürültülü bileşenler içerse de kenar bilgisini en iyi koruyan yöntemlerin başında oldukları saptanmıştır. Yoğunluk Renk Doyum yönteminin ise genellikle yüksek uzamsal doğruluğu olan ancak spektral bozulmalara sahip sonuçlar ürettiği analiz edilmiştir.



Resim 4.2: İstanbul görüntüsü için yöntemler ve görsel sonuçları

Resim 4.2’de yer alan görselde Yüksek Geçiren Filtre, Optimize Yüksek Geçiren Filtre, Yoğunluk Renk Doyum, Wavelet, Hiperküre Renk Uzayı ve Bulanık Maskelenmiş Hiperküre Renk Uzayı yöntemleri ile elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntüler yer almaktadır. IHS ve HCS algoritmaları renk uzayı değişimini temel alan yöntemler olup; HCS yöntemi IHS yöntemine göre uzamsal olarak daha başarılı sonuçlar üretmiştir. HPF ve Optimize HPF yöntemleri metodoloji olarak birbirlerine oldukça yakındır. Optimize HPF yönteminde Pan görüntü HPF yönteminden farklı olarak iki kez yüksek geçiren filtreden geçirilir, bu da uzamsal çözünürlüğü daha yüksek olan çıktıların elde edilmesini sağlamaktadır. Bulanık Maskleme yöntemiyle işlenen HCS yöntemi ve orijinal HCS yöntemi kıyaslandığında ise bulanık maskelenmiş görüntünün gürültü miktarının azaldığı, renk bilgisinin korunduğu keskinlik derecesinin de arttığı analiz edilmiştir.



Resim 4.3: Ankara Görüntüsü İçin HPF, Optimize HPF ve HCS Görüntüleri

Ankara uydu görüntülerinden indirgenmiş alt görüntü setini kullanan HPF, Opt HPF ve HCS yöntemlerinin görsel sonuçları Resim 4.3 ile kıyaslanmıştır. Bu görsel ile Yüksek geçiren filtre temelli yöntemlerin HCS'ye göre daha yüksek başarıma sahip olduğu görülmektedir. Optimize HPF yönteminin daha önceki görsellerde de doğrulandığı üzere en yüksek uzamsal çözünürlüğü sağlayan yöntem olduğu gözlemlenmiştir.



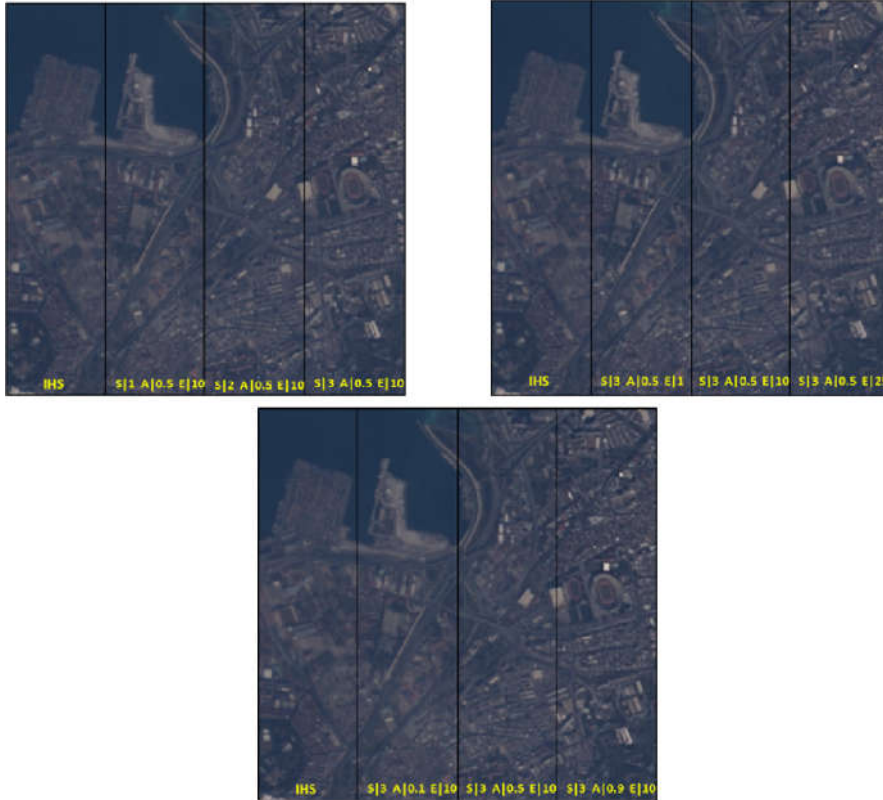
Resim 4.4: Antalya HCS, Unsharp HCS, HCS-Smart yöntemleri görsel sonuçları



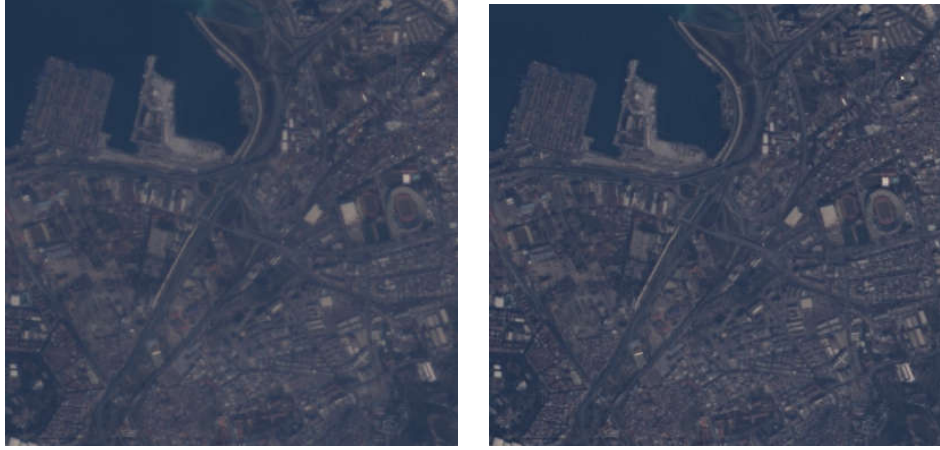
Resim 4.5: Antalya HPF, Unsharp HPF, Optimized HPF yöntemleri görsel sonuçları

Antalya uydu görüntülerinden indirgenmiş alt görüntü setini kullanan HPF, Optimize HPF, Bulanık Maskelenmiş HPF, HCS, HCS-Smart ve Bulanık Maskelenmiş HCS yöntemlerinin görsel sonuçları Resim 4.4 ve Resim 4.5 ile kıyaslanmıştır. Optimize HPF yönteminde HPF yöntemine ek olarak pankromatik görüntünün iki kez yüksek geçiren filtreden geçirilmesi temel alındığından görüntüdeki nesnelerin detayları daha kolay gözlemlenebilmektedir. HCS-Smart yöntemi renk bilgisini korumada HCS yöntemine göre daha yüksek başarımlara sahip görüntüler üretmektedir. Bulanık Maskelme yönteminin uzamsal çözünürlük çıktılarının daha başarılı olduğu ve daha keskin görüntüler ürettiği gözlemlenmiştir.

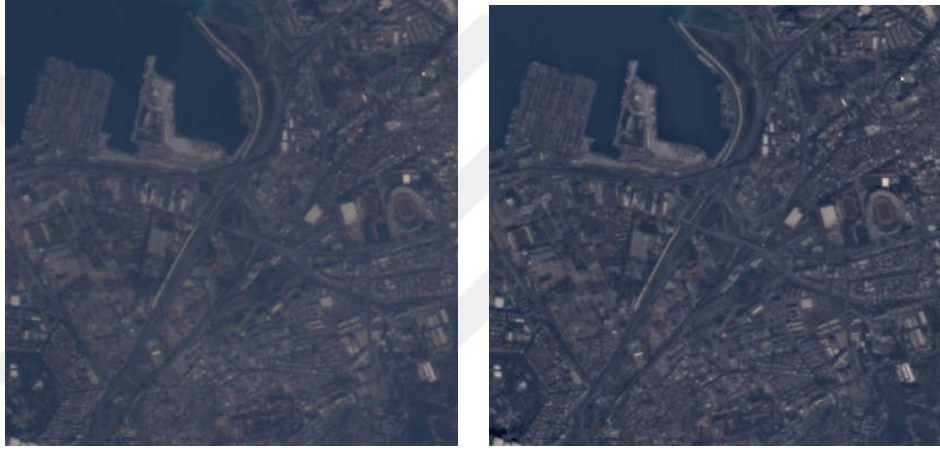
IHS yöntemi baz alınarak Bulanık Maskelme yönteminde girdi olarak kullanılan sigma, ağırlık ve eşik parametrelerinin görüntü üzerindeki etkileri test edilmiş ve Resim 4.6 ve Resim 4.7 de görsel sonuçlarına yer verilmiştir. Sigma parametre değeri arttıkça görüntüdeki gürültü derecesi arttığı gözlemlenmiştir. Ağırlık parametresi keskinlik gücünü belirleyen faktörlerden biridir, limit değerleri dışında değer verildiğinde görüntüde spektral bozulmalara, bulanıklaşmalara neden olur. Eşik değeri ise görüntüdeki gürültüyü engellemektedir. Resim 4.8'de yer alan görsel sonuç sigma ağırlık ve eşik parametrelerine optimal değerlerin üstünde değerler verilmesi sonucu elde edilmiştir. Görüntüde spektral, renk bozulmalarının olduğu, keskinlik derecesinin ise azaldığı analiz edilmiştir. En yüksek başarımlar sigma'nın 3 değerine ağırlık parametresinin 0.5 ve eşik değerinin ise 10'a eşit olduğu konfigürasyon ile elde edilmiştir.



Resim 4.6: İzmir görüntüsü IHS ve farklı Sigma, Ağırlık ve Eşik parametreleri ile Unsharp yönteminin görsel sonuçları



Resim 4.7: İzmir IHS ve Unsharp(Sigma:3, Ağırlık:0.5, Eşik:10) yöntemi görsel sonuçları



Resim 4.8: İzmir IHS ve Unsharp(Sigma:10, Ağırlık:1, Eşik:25) yöntemi görsel sonuçları

4.2 Metrik Sonuçları

Elde edilen pankeskinleştirilmiş görüntülerin değerlendirilmesinde görsel sonuçların yanında çeşitli başarımlar ölçüt kriterlerine de başvurulmaktadır. Görsel sonuçlar nicel sonuçlar ürettiğinden değerlendirme de tek başına ölçüt olarak kullanılamaz. Bunun yanında nitel çıktılara da ihtiyaç duyulması sonucunda literatürde pek çok metrik önerilmiştir. Tez kapsamında baz alınan metriklerden CC, ERGAS, RASE, RMSE, SAM, SID ve QAVE metrikleri görüntü verilerini spektral çözünürlük temel olarak yorumlarken Spatial metriği mekansal çözünürlük açısından yorumlamaktadır. Bu ölçütlerin bir arada kullanılması sonucu hem yüksek keskinliğe hem de yüksek spektral bilgiye sahip yöntemlerin tespit edilmesi sağlanabilmektedir. Çalışma alanına bağlı olarak, pan keskinleştirme yönteminin gereksinime göre belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin şehir ve bölge planlayıcıları uzamsal detayları ön plana çıkaran metotları seçerken uzaktan algılama konusunda yapılan çalışmalarda spektral bilgileri koruyucu yöntemler tercih edilmelidir.

Bu bölümde farklı veri setleri üzerinden elde edilen sayısal sonuçlara yer verilmiştir. İlk olarak farklı interpolasyon tekniklerinin başarımlarına olan etkisi test edilmiştir. Nearest, Bilinear ve Bicubic yöntemleri ile örneklenen çoklu spektral görüntüler pankromatik görüntülerle temel alınan yöntemlere göre füzyon edilmiş ve keskinleştirilmiş görüntüler elde edilmiştir. Çoklu spektral görüntü ile keskinleştirilmiş görüntüler çeşitli korelasyonlara tabi tutularak analiz edilmiş ve metrik sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 4.1: Kübik interpolasyon tekniği kullanılarak İstanbul görüntüsünden elde edilen tüm yöntemlere ait rakamsal sonuçlar

	CC	ERGAS	RASE	RMSE	SAM	SID	Uzamsal	QAVE
Brovey	0,99	14,42	37,15	32,49	0,25	0,00	0,99	0,99
GF	0,99	1,04	3,90	3,41	0,78	0,00	0,97	0,97
GS	1,00	5,13	18,49	53,87	0,51	0,00	0,55	0,94
HCS	0,91	4,84	14,38	12,58	7,32	0,02	0,98	0,97
HCS-Smart	0,92	5,01	15,32	13,40	7,32	0,02	0,95	0,97
HPF	0,82	5,68	22,18	19,40	0,69	0,00	0,98	0,99
HSV	0,96	20,76	46,12	40,33	0,18	0,00	0,98	0,99
IHS	0,99	0,99	3,88	3,39	0,15	0,01	0,99	0,99
Opt. HPF	0,99	1,32	4,84	4,23	0,49	0,00	0,95	0,99
PCA	0,99	1,15	4,19	3,66	0,66	0,00	0,97	0,98
SFIM	0,99	1,13	4,47	3,91	0,23	0,00	0,97	0,99
Wavelet	0,99	0,74	2,80	2,46	0,50	0,00	0,90	0,92

Çizelge 4.2: En yakın komşu interpolasyon tekniği kullanılarak İstanbul görüntüsünden elde edilen tüm yöntemlere ait rakamsal sonuçlar

	CC	ERGAS	RASE	RMSE	SAM	SID	Uzamsal	QAVE
Brovey	0,99	14,36	37,06	32,35	0,28	0,00	0,99	0,99
GF	0,99	1,06	3,99	3,48	0,82	0,00	0,97	0,96
GS	1,00	5,42	19,57	52,13	0,51	0,00	0,55	0,93
HCS	0,92	4,85	14,39	12,56	7,47	0,05	0,98	0,97
HCS-Smart	0,91	5,03	15,43	13,47	7,35	0,02	0,95	0,96
HPF	0,82	5,69	22,22	19,40	0,69	0,00	0,98	0,99
HSV	0,96	20,71	46,07	40,21	0,22	0,00	0,98	0,98
IHS	0,99	0,93	3,63	3,17	0,15	0,01	0,99	0,99
Opt. HPF	0,99	1,34	4,90	4,28	0,49	0,00	0,95	0,96
PCA	0,99	1,05	3,83	3,34	0,68	0,00	0,97	0,92
SFIM	0,99	1,14	4,50	3,92	0,23	0,00	0,97	0,99
Wavelet	0,99	0,81	3,04	2,66	0,57	0,00	0,90	0,92

Çizelge 4.3: Doğrusal interpolasyon tekniği kullanılarak İstanbul görüntüsünden elde edilen tüm yöntemlere ait rakamsal sonuçlar

	CC	ERGAS	RASE	RMSE	SAM	SID	Uzamsal	QAVE
Brovey	0,99	14,38	37,06	32,35	0,28	0,00	0,99	0,99
GF	0,99	1,06	3,99	3,48	0,82	0,00	0,97	0,96
GS	1,00	5,42	19,57	52,13	0,58	0,00	0,55	0,93
HCS	0,89	4,85	14,39	12,56	7,47	0,05	0,98	0,97
HCS-Smart	0,91	5,03	15,43	13,47	7,28	0,02	0,95	0,96
HPF	0,82	5,69	22,22	19,40	0,69	0,00	0,98	0,99
HSV	0,96	20,71	48,13	40,21	0,22	0,00	0,98	0,98
IHS	0,99	0,93	3,63	3,17	0,15	0,01	0,99	0,99
Opt. HPF	0,99	1,34	4,90	4,28	0,49	0,00	0,95	0,96
PCA	0,99	1,05	3,83	3,34	0,68	0,00	0,97	0,92
SFIM	0,99	1,14	4,50	3,92	0,23	0,00	0,97	0,99
Wavelet	0,99	0,81	3,04	2,66	0,57	0,00	0,90	0,92

Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'e bakıldığında CC metriğinin en iyi sonucu Gramm-Schmidt yöntemiyle sağladığı, ERGAS metriği ile RASE ve RMSE gibi çoklu spektral görüntü ile keskinleşmiş görüntü pikselleri arasındaki farka doğrusal kombinasyonu ile bakan metriklerde en iyi sonucu Wavelet tarafından elde edildiği gözlemlenmiştir. Bununla beraber SAM ölçütünün IHS yöntemiyle iyi çalıştığı, Uzamsal ve QAVE metriklerinin ise birden fazla yöntemde başarılı sonuçlar ürettiği saptanmıştır. Yukarıdaki sonuçlar baz alınarak kullanılan interpolasyon yöntemlerinden birden fazla piksel seviyesinde üst örnekleme yapan Bicubic yönteminin daha başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4: Ankara Görüntüsü IHS metodu için uygulanan Unsharp yöntemi sayısal başarımlar ölçüt sonuçları

	IHS	IHS(1,0,3,10)	IHS(3,0,5,10)
CC	0,97	0,98	0,97
ERGAS	0,77	0,97	1,22
RASE	3,06	3,84	4,85
RMSE	2,62	2,62	4,15
SAM	0,09	0,11	0,14
SID	0,00	0,00	0,00
Uzamsal	0,97	0,98	0,98
QAVE	1,00	1,00	1,00

Çizelge 4.4'de IHS yöntemi tüm metrikler üzerinden farklı ağırlık, eşik ve sigma değerlerini girdi olarak kullanan Bulanık Maskeleye yöntemi ile kıyaslanmıştır. Spatial

metrik sonuçlarına bakıldığında Bulanık Maskeleye yönteminin keskinliği arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında diğer metrik sonuçlarının yaklaşık olarak aynı sonucu vermesi ile görüntünün spektral çözünürlük bilgisinin korunduğu ispatlanmıştır.

Çizelge 4.5: İzmir görüntüsü Bulanık Maskeleye (3, 0.5, 10) ile önışlenmiş tüm metotların RMSE ve Uzamsal rakamsal sonuçları

	RMSE 0	Uzamsal 1
Brovey	32,62	0,96
Unsharp Brovey	32,63	0,98
GF	4,98	0,94
Unsharp GF	6,37	0,97
GS	0,00	0,50
Unsharp GS	0,00	0,52
HCS	14,30	0,96
Unsharp HCS	14,93	0,98
HCS - Smart	15,47	0,91
Unsharp HCS - Smart	17,06	0,94
HPF	25,67	0,98
Unsharp HPF	37,51	0,98
HSV	45,63	0,96
Unsharp HSV	45,60	0,97
IHS	3,76	0,95
Unsharp IHS	6,16	0,97
Opt. HPF	5,74	0,93
Unsharp Opt. HPF	5,70	0,93
PCA	3,85	0,92
Unsharp PCA	6,33	0,96
SFIM	5,15	0,91
Unsharp SFIM	6,76	0,92
Wavelet	3,65	0,87
Unsharp Wavelet	4,68	0,94

Görsel ve metrik sonuçlar beraber yorumlandığında Optimize Yüksek Geçiren Filtre yönteminin yüksek uzamsal ve spektral çözünürlük sağlamada diğer metotlardan daha üstün performans verdiği görülmüştür. Hiperküre Renk Uzayı yöntemi spektral detayları korurken, daha az uzamsal detaya sahiptir. Yoğunluk Renk Doyum metodu ise yüksek uzamsal doğruluğu olan ancak spektral bozulma içeren görüntüler üretir. Temel Bileşen Analizi yöntemi ile keskinleştirilmiş görüntü daha fazla pankromatik bilgi taşıdığından geometrik çözünürlük için başarılı çıktılar üretmektedir. Bulanık maskeleye yönteminin, orijinal yöntemlerle benzer başarımlı sonuçları verirken genellikle detayları artırdığı görülmüştür. Hiperküre Renk Uzayı yöntemi spektral ölçümlerde yaklaşık olarak aynı sonuçlar vermek ile birlikte uzamsal metriklerde Bulanık Maskeleye ile daha yüksek sonuç başarımlı vermiştir. En yüksek spektral benzerlik Yumuşatıcı Filtre Temelli Yoğunluk Modülasyonu yöntemi ile elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Alparone, L., Wald, L., Chanussot, J., Thomas, C., Gamba, P., and Bruce, L.-M.** Comparison of pansharpening algorithms: Outcome of the 2006 grs-s data fusion contest. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45, 10 (2007), 3012–3021.
- [2] **Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R., and Katsaggelos, A. K.** A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2011, 1 (2011), 79.
- [3] **Carper, W., Lillesand, T., and Kiefer, R.** The use of intensity-hue-saturation transformations for merging spot panchromatic and multispectral image data. *Photogrammetric Engineering and remote sensing* 56, 4 (1990), 459–467.
- [4] **Chang, C.-I.** Spectral information divergence for hyperspectral image analysis. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS'99 Proceedings. IEEE 1999 International* (1999), vol. 1, IEEE, pp. 509–511.
- [5] **Chavez Jr, P. S., and Bowell, J. A.** Comparison of the spectral information content of landsat thematic mapper and spot for three different sites in the phoenix, arizona region. *Photogrammetric engineering and remote sensing (USA)* (1988).
- [6] **Du, Q., Younan, N. H., King, R., and Shah, V. P.** On the performance evaluation of pan-sharpening techniques. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 4, 4 (2007), 518–522.
- [7] **Ehlers, M., Klonus, S., Johan Åstrand, P., and Rosso, P.** Multisensor image fusion for pansharpening in remote sensing. *International Journal of Image and Data Fusion* 1, 1 (2010), 25–45.
- [8] **Fasbender, D., Radoux, J., and Bogaert, P.** Bayesian data fusion for adaptable image pansharpening. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46, 6 (2008), 1847–1857.

- [9] **Gangkofner, U. G., Pradhan, P. S., and Holcomb, D. W.** Optimizing the highpass filter addition technique for image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73, 9 (2007), 1107–1118.
- [10] **Gillespie, A. R., Kahle, A. B., and Walker, R. E.** Color enhancement of highly correlated images. i. decorrelation and hsi contrast stretches. *Remote Sensing of Environment* 20, 3 (1986), 209–235.
- [11] **Gonzalez, R. C., Woods, R. E., et al.** Digital image processing, 2002.
- [12] **He, K., Sun, J., and Tang, X.** Guided image filtering. *IEEE transactions on pattern analysis & machine intelligence*, 6 (2013), 1397–1409.
- [13] **Hotelling, H.** Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of educational psychology* 24, 6 (1933), 417.
- [14] **Hou, H., and Andrews, H.** Cubic splines for image interpolation and digital filtering. *IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing* 26, 6 (1978), 508–517.
- [15] **Huang, J.-J., Siu, W.-C., and Liu, T.-R.** Fast image interpolation via random forests. *IEEE Transactions on Image Processing* 24, 10 (2015), 3232–3245.
- [16] **Huang, W., Xiao, L., Wei, Z., Liu, H., and Tang, S.** A new pan-sharpening method with deep neural networks. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 12, 5 (2015), 1037–1041.
- [17] **Jagalingam, P., and Hegde, A. V.** A review of quality metrics for fused image. *Aquatic Procedia* 4 (2015), 133–142.
- [18] **Jiang, H., and Moloney, C.** A new direction adaptive scheme for image interpolation. In *Image Processing, 2002. Proceedings. 2002 International Conference on* (2002), vol. 3, IEEE, pp. III–III.
- [19] **Kahraman, S., and Ertürk, A.** Performance analysis of pansharpening algorithms for rasat images. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2017 25th* (2017), IEEE, pp. 1-4.
- [20] **King, R. L., and Wang, J.** A wavelet based algorithm for pan sharpening landsat 7 imagery. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS'01. IEEE 2001 International* (2001), vol. 2, IEEE, pp. 849–851.

- [21] **Laben, C. A., and Brower, B. V.** Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening, 2000. US Patent 6,011,875.
- [22] **Lehmann, T. M., Gonner, C., and Spitzer, K.** Survey: Interpolation methods in medical image processing. *IEEE transactions on medical imaging* 18, 11 (1999), 1049-1075.
- [23] **Leung, Y., Liu, J., and Zhang, J.** An improved adaptive intensity–hue–saturation method for the fusion of remote sensing images. *IEEE Geosci.RemoteSens. Lett* 11, 5 (2014), 985–989.
- [24] **Li, S., Kang, X., and Hu, J.** Image fusion with guided filtering. *IEEE Transactions on Image Processing* 22, 7 (2013), 2864–2875.
- [25] **Liu, J.** Smoothing filter-based intensity modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing* 21, 18 (2000), 3461–3472.
- [26] **Liu, J., and Liang, S.** Pan-sharpening using a guided filter. *International Journal of Remote Sensing* 37, 8 (2016), 1777–1800.
- [27] **Maurer, T.** How to pan-sharpen images using the gram-schmidt pan-sharpen method-a recipe. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences* 1 (2013), W1.
- [28] **Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., and Smallwood, S.** Worldview-2 pansharpening. In *Proceedings of the ASPRS 2010 Annual Conference, San Diego, CA, USA* (2010), vol. 2630.
- [29] **Palsson, F., Sveinsson, J.R., Benediktsson, J.A., and Aanes, H.** Classification of pansharpened urban satellite images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 5, 1 (2012), 281.
- [30] **Parker, J. A., Kenyon, R. V., and Troxel, D. E.** Comparison of interpolating methods for image resampling. *IEEE Transactions on medical imaging* 2, 1 (1983), 31–39.
- [31] **Pearson, K. Liii.** on lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 2, 11 (1901), 559.
- [32] **Plaziac, N.** Image interpolation using neural networks. *IEEE Transactions on Image Processing* 8, 11 (1999), 1647–1651.

- [33] **Pohl, C., and Van Genderen, J. L.** Review article multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International journal of remote sensing* 19, 5 (1998), 823–854.
- [34] **Ranchin, T., and Wald, L.** Fusion of high spatial and spectral resolution images: the arsis concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66, 1 (2000), 49–61.
- [35] **Schowengerdt, R. A.** Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency content. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 46, 10 (1980), 1325–1334.
- [36] **Smith, J. R., and Chang, S.-F.** Tools and techniques for color image retrieval. In *Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases IV* (1996), vol. 2670, International Society for Optics and Photonics, pp. 426–438.
- [37] **Strait, M., Rahmani, S., and Merkurev, D.** Evaluation of pan-sharpening methods. *UCLA Department of Mathematics* (2008).
- [38] **Teke, M., San, E., and Koç, E.** Unsharp masking based pansharpening of high resolution satellite imagery. In *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (2018), IEEE, pp. 1–4.
- [39] **Teoh, K. K., Ibrahim, H., and Bejo, S. K.** Investigation on several basic interpolation methods for the use in remote sensing application. In *Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications, 2008. CITISIA 2008. IEEE Conference on* (2008), IEEE, pp. 60–65.
- [40] **Tu, T.-M., Huang, P. S., Hung, C.-L., and Chang, C.-P.** A fast intensity-huesaturation fusion technique with spectral adjustment for ikonos imagery. *IEEE Geoscience and Remote sensing letters* 1, 4 (2004), 309–312.
- [41] **Wald, L.** Quality of high resolution synthesised images: Is there a simple criterion? In *Third conference" Fusion of Earth data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed images"* (2000), SEE/URISCA, pp. 99–103.
- [42] **Wang, Z., and Bovik, A. C.** A universal image quality index. *IEEE signal processing letters* 9, 3 (2002), 81–84.

- [43] **Yuhas, R.H., Goetz, A.F., and Boardman, J.W.** Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the spectral angle mapper (sam) algorithm.
- [44] **Zitova, B., and Flusser, J.** Image registration methods: a survey. *Image and vision computing* 21, 11 (2003), 977–1000.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ezgi San
Uyruđu : TC
Dođum Tarihi ve Yeri : 31.03.1993 - Kayseri
E-posta : ezgisan@etu.edu.tr

ÖĐRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi,
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2016-2018	TOBB ETÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	ARGE Burslu Y.L Öğrencisi
2017-Halen	Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ)	Tasarım Mühendisi

YABANCI DİL: İngilizce, Almanca

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Teke, M., San, E., and Koç, E.** Unsharp masking based pansharpening of high resolution satellite imagery. In *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (2018), IEEE, pp. 1–4.