
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN PAN KESKİNLEŞTİRİLMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ

İbrahim Serdar AÇIKGÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2015

İbrahim Serdar Açıkgöz tarafından hazırlanan “UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN PAN KESKİNLEŞTİRİLMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği (Mühendislik Fakültesi) Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Fırat HARDALAÇ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. .....

Başkan: Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA

Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. .....

Üye: Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

Bilgisayar Mühendisliği A.B.D, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. .....

Tez Savunma Tarihi: 28 /01/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İbrahim Serdar AÇIKGÖZ

12/02/2015

UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN PAN KESKİNLEŞTİRİLMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İbrahim Serdar AÇIKGÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2015

ÖZET

Türkiye kendi yer gözlem uydularını geliştirebilen ülkeler arasına RASAT uydusu ile girmiştir. Bu teknolojik gelişmenin ardından Göktürk-2 uydusu milli imkânlarla geliştirilerek uzaya gönderilmiştir. Bu iki uydu halen işlevsel ve aktif olarak dünyanın çeşitli mekânlarından görüntü almaktadırlar. Bu uydular üzerinden alınan görüntüler ilgili makamlarına verilmeden önce görüntü işleme süreçlerinden geçirilmektedir. Yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile çok bantlı görüntünün birleştirilmesi yani Pan keskinleştirme işlemi bu süreçlerin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada farklı pan keskinleştirme yöntemleri karşılaştırılmış ve en uygun sonuçların HCS ve Opt. HPF yöntemleri ile alındığı gözlemlenmiştir. Hem mekânsal hem spektral çözünürlük ve görüntülerdeki bant sayısı arttıkça görüntü işleme süreçleri kayda değer zaman almaktadır. Çok işlekli programlama ve genel amaçlı grafik işlem birimi uygulamaları birçok operasyonun tekil piksel boyutunda yürütüldüğü görüntü işleme uygulamalarının performansını arttırır. Bu tezde CPU ve GPU ortamlarında milli yer gözlem uydusu RASAT görüntüleri kullanılarak pan keskinleştirme algoritmaları karşılaştırılmıştır. GPU üzerinde gerçekleştirilen pan keskinleştirme algoritmaları CPU'ya kıyasla 25-30 kata kadar hızlanma sağlamıştır. Bu görüntü işleme adımlarındaki zaman açısından performans artırılırken görüntü kalitesi anlamında bir kayıp yaşanmadığı da gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu	:	905.1.135
Anahtar Kelimeler	:	Görüntü birleştirme, görüntü füzyonu, görüntü işleme, GPU, pan keskinleştirme, RASAT, uydu görüntüleri, uzaktan algılama
Sayfa Adedi	:	65
Danışman	:	Doç. Dr. Fırat HARDALAÇ

PERFORMANCE ANALYSIS AND PAN SHARPENING OF SATELLITE IMAGES

(M. Sc. Thesis)

İbrahim Serdar AÇIKGÖZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2015

ABSTRACT

Turkey has joined the countries which could develop their own earth observation satellites with RASAT. After this technological advance, Göktürk-2 satellite has been developed by national facilities and launched to the space. These two satellites are still operational and continuously acquire images of the Earth's several locations. The images acquired from these satellites are processed before delivering to whom it may concern. Pan sharpening, at which high resolution pan and low resolution multi-spectral images are fused, is an important step in image processing chain. Different pan sharpening algorithms compared in this work, optimal algorithm suggested as HCS and Optimal HPF methods. As the both spatial and spectral resolution and number of images increases, pan sharpening of satellite images take considerable amount of time. Multithread programming and General Purpose GPU (GPGPU) programming implementation improve performance of image processing applications, where most operations carried out on individual pixels. In this thesis, pan sharpening applications and their CPU and GPU implementations for RASAT images are compared. GPU implementations of pan sharpening algorithms provides 20-25 times speed-up compared to CPU implementations. While improving performance of these image processing steps in terms of time, it is observed that quality of the images have not decreased as well.

Science Code	:	905.1.135
Keywords	:	Image fusion, image processing, GPU, pan sharpening, RASAT, remote sensing, satellite images
Page Number	:	65
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Fırat HARDALAÇ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen ve katkılarıyla bana yol gösteren kıymetli danışmanım sayın Doç. Dr. Fırat HARDALAÇ hocama, sabırları ve destekleri ile kıymetli anneme, babama ve eşime teşekkür ederim. Ayrıca, araştırmalarımda bana büyük destek olan çalışma arkadaşım sayın Mustafa TEKE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. RASAT UYDUSU VE YAZILIM GELİŞTİRME ORTAMLARI 3

2.1. RASAT Uydusu 3

2.2. GEZGİN Portali 5

2.3. Merkezi İşlem Birimi 6

2.3.1. Saat Vuruşu Sıklığı 6

2.3.2. Paralel İşleme 6

2.3.3. OpenMP 6

2.4. Grafik İşlem Birimi 7

2.4.1. Genel Amaçlı GPU (GPGPU) 8

2.4.2. OpenCL 9

2.4.3. CUDA 9

3. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME VE YÖNTEMLER 13

3.1. Görüntü Birleştirme 13

3.1.1. Bant çakıştırma 14

3.1.2. Görüntü ölçeklendirme 14

Sayfa

3.2. Görüntü Birleştirme Yöntemleri 16
3.2.1. Brovey yöntemi 16
3.2.2. Yoğunluk renk doyumu 17
3.2.3. Yumuşatma filtresi tabanlı yoğunluk modülasyonu (SFIM) 19
3.2.4. Renk doyum değeri (HSV) 20
3.2.5. Temel bileşen analizi (PCA) 22
3.2.6. Hiperküre renk uzayı (HCS) 25
3.2.7. Yüksek geçiren süzgeç (HPF) 28
3.2.8. Optimized HPF yöntemi 29
3.2.9. Gram-Schmidt yöntemi 30
3.3. Unsharp Yöntemi 30
4. ÖLÇÜTLER 33
4.1. Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) 34
4.2. Tayfsal Açı Haritalayıcı (SAM) 34
4.3. Göreceli Ortalama Tayfsal Hata (RASE) 34
4.4. Bağıl Boyutsuz Küresel Hata Sentezi (ERGAS) 35
4.5. Evrensel Görüntü Kalitesi İndeksi (QAVE) 35
4.6. Spektral Bilgi Farklılığı (SID) 36
4.7. Bağlılık Katsayısı (CC) 36
4.8. Mekânsal 37
4.9. QNR Spektral Ölçütü 37
4.10. QNR Mekânsal Ölçütü 37
5. TESTLER 39
5.1. Test Verileri 39

Sayfa

5.2. Test Ortamı 41

5.3. Algoritmaların Uyarlanması 42

5.4. Test Sonuçları 44

5.4.1. Sayısal ölçümler 45

5.4.2. Görsel testler 50

5.4.3. Geliştirme ortamları arası farklar 53

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 57

KAYNAKLAR 61

ÖZGEÇMİŞ 65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. RASAT uydusunun özellikleri 3

Çizelge 2.2. CUDA ve OpenCL Karşılaştırması 11

Çizelge 5.1. Test görüntüleri 40

Çizelge 5.2. Tüm pan keskinleştirme yöntemlerinin ölçüt sonuçları 45

Çizelge 5.3. Pan keskinleştirme yöntemlerinin CPU üzerindeki metrik sonuçları 54

Çizelge 5.4. Pan keskinleştirme yöntemlerinin GPU üzerindeki metrik sonuçları 54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. RASAT uydusunun CCD yerleşimi 4
Şekil 2.2. RASAT uydusunun algılayıcı karakteristiği 5
Şekil 2.3. CPU ve GPU hız karşılaştırma grafiği 7
Şekil 2.4. CPU ve GPU çekirdek yapıları 8
Şekil 2.5. CUDA ve GPU mimarisi 10
Şekil 2.6. CPU, OpenCL ve CUDA performans grafiği 11
Şekil 3.1. Pan keskinleştirme işlemi 13
Şekil 3.2. Bant çakıştırma için yer kontrol noktaları eşleştirilmesi 14
Şekil 3.3. Brovey yöntemi blok diyagramı 17
Şekil 3.4. IHS yöntemi blok diyagramı 19
Şekil 3.5. SFIM yöntemi blok diyagramı 20
Şekil 3.6. RGB ve HSV renk-uzay grafikleri 21
Şekil 3.7. PCA yöntemi blok diyagramı 23
Şekil 3.8. PCA yönteminde MS görüntü ve ilk temel bileşeni 24
Şekil 3.9. PAN görüntü ve normalize edilmiş hali 24
Şekil 3.10. HCS renk uzayı 26
Şekil 3.11. HPF yöntemi blok diyagramı 29
Şekil 3.12. Unsharp yöntemi kullanılmayarak birleştirilmiş görüntü 31
Şekil 3.13. Unsharp yöntemi kullanılarak birleştirilmiş görüntü 31
Şekil 5.1. Test görüntülerin Türkiye üzerindeki konumları 39
Şekil 5.2. Ardışık toplam işleminin görselleştirilmesi 43
Şekil 5.3. Log-Step toplama işleminin görselleştirilmesi 43
Şekil 5.4. RMSE ölçütü sonuçları 46
Şekil 5.5. SAM ölçütü sonuçları 46
Şekil 5.6. CC ölçütü sonuçları 47
Şekil 5.7. RASE ölçütü sonuçları 47
Şekil 5.8. QAVE ölçütü sonuçları 48
Şekil 5.9. SID ölçütü sonuçları 48
Şekil 5.10. ERGAS ölçütü sonuçları 49
Şekil 5.11. Mekânsal ölçütü sonuçları 49

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.12 Pankromatik görüntü (a) MS görüntü (b) Brovey (c) HCS (d) SFIM (e) HCS Smart (f) PCA (g) HSV (h) HPF (ı) Opt. HPF (i) Unsharp HPF (j) Unsharp HCS (k) 51

Şekil 5.13. GPU ile Brovey (a) CPU ile Brovey (b) GPU ile HPF (c) CPU ile HPF (d) 53

Şekil 5.14. CPU, CPU(OpenMP) ve GPU ortamlarında yöntemlerin süreleri 55

Şekil 5.15. OpenMP ile CPU üzerindeki hız artışı 56

Şekil 5.16. GPU ile CPU arasındaki hız artışı..... 56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
km²	Kilometrekare

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CC	Correlation coefficient
CPU	Central Processing Unit
CUDA	Compute Unified Device Architecture
ERGAS	Relative Dimensionless Global Error Synthesis
FLOPS	Floating-point Operations Per Second
FPGA	Field-Programmable Gate Array
GFLOPS	Giga Floating-point Operations Per Second
GPU	Graphical Processing Unit
GS	Gram-Schmidt
HCS	Hyperspherical Color Space
HPF	High Pass Filter
HSV	Hue Saturation Value
IHS	Intensity Hue Saturation
MS	Multispektral
OpenCL	Open Computing Language
Opt. HPF	Optimized High Pass Filter
PAN	Pankromatik
PCA	Principal Component Analysis
QAVE	Universal Image Quality Index

Kısaltmalar	Açıklamalar
QNR	Quality to Noise Ratio
RASE	Relative average spectral error
RMSE	Root Mean Square Error
SAM	Spectral Angle Mapper
SFIM	Smoothing Filter Intensity Modulation
SID	Spectral Information Divergence
SIMD	Single instruction multiple data
TBA	Temel Bileşenler Analizi
UTC	Universal Time Coordinated

1. GİRİŞ

Yer gözlem uyduları alçak yörüngede uçan ve üzerinde dünya üzerinden görüntü almak için faydalı yük barındıran yapay bir uydu türüdür. Genellikle dünyadan 500km ile 700km uzaklığı arasında bir yörüngeye yerleştirilirler. İlk yer gözlem uydusu olan Landsat-1 uydusu 23 Temmuz 1972 yılında uzaya fırlatılmıştır [1]. O günden bu güne bu alanda birçok uydu geliştirilmiş ve dünya gözlemlemesi yapılmıştır. Alçak yörüngede odaklanılan alanda küresel kapsama alanı oluşturabilmek için görece düşük kutupsal ya da en azından yakın kutupsal açıda olmak zorundadırlar [2].

Spektral çözünürlük, algılayıcıların yansıma enerjisini topladıkları dalga boyları arasındaki mesafe ya da genişlik 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 algılayıcılar için bantlar, spektrumun görünen ile yakın kızıl ötesi bölümünü içerirler ve bunların verileri siyah beyaz görüntü olarak oluşurlar. MS 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 multispektral bantlara göre daha yüksek olmaktadır. Mevcut görüntü birleştirme diğer bir adıyla pan keskinleştirme işlemi multispektral bantlardan alınan görüntü bilgisini pankromatik banttan alınan bilgi ile yüksek çözünürlüklü görüntü elde edebilmektir. Bu şekilde iki farklı ölçü kullanılarak ve her iki çözünürlükten de en az kayıp ile renklendirilmiş görüntüler elde edilir.

Araştırmanın Amacı

Yer gözlem uydu sistemlerinde görüntülerin işlenmesi bu sistemin ayrılmaz bir parçasıdır. Uydular üzerindeki faydalık yük üzerinden alınan bilginin en iyi şekilde kullanılmaya sunulması için görüntü işleme kısmında çalışılan önemli bir alan mevcuttur. Görüntü birleştirme bu alanın en önemli parçalarından biridir. Pan keskinleştirme yöntemlerinin amacı, pankromatik banttan alınan bağıl yüksek mekânsal çözünürlüklü bilgiyi en az kayıp ile spektral çözünürlüğü yüksek olan görüntü bilgisine aktarmaktır. Bu işlemlerde görüntü keskinliği yani mekânsal çözünürlüğü yüksek tutulmaya çalışıldığında spektral çözünürlükten diğer bir ifadeyle renkten bir kayıp yaşanmaktadır. Tam tersi durumda, yani renkten en az kayıp olabilmesi için bu sefer keskinlikten bir kayıp yaşanmaktadır. Bazı pan keskinleştirme yöntemleri bu dengelemeyi diğer yöntemlere göre daha iyi çözüp daha verimli sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışmada bu konu da ele alınacaktır. Ayrıca uydu görüntüleri teknolojinin ilerlemesi ile daha yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüğe sahip olmaktadır. Bu durumda yer gözlem uydularından alınan görüntülerin etkili bir biçimde işlenebilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bu konular ele alınacak olup farklı ortam ve farklı yöntemlerle görüntü işlemesi yapılacaktır. Pan keskinleştirme yöntemleri teorik olarak ve pratik olarak günümüzde birçok yerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise en uygun yöntem ve en iyi performansı sağlayan ortam bulunmaya çalışılacaktır. Bu farklı ortamlar C++ ve CUDA olarak ayrılmaktadır. İlk ortam bilgisayarların merkezi işlem birimi (CPU) üzerinde koşmakta olup son ortam ise grafik işlem birimi (GPU) üzerinde çalıştırılmaktadır. CPU ile GPU arasında kayan nokta (floating point) veri tipi uygulamalarında farklılık gösterdiğinden dolayı hassasiyet anlamındaki değişiklikler de bu çalışma kapsamında değerlendirilecektir. Bu çalışmada farklı pan keskinleştirme yöntemlerinin RASAT uydu görüntüleri ile spektral ve mekânsal doğrulukları sayısal metrikler ile karşılaştırılmış olup bunların farklı yazılım geliştirme ortamlarında (C++ ve CUDA) ile başarımları karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin tek işlek ve çok işlek hız performansları da değerlendirilmiştir.

2. RASAT UYDUSU VE YAZILIM GELİŞTİRME ORTAMLARI

2.1. RASAT Uydusu

RASAT Projesi ile Türkiye'nin uzaktan algılama alanında ihtiyaçlarına azami ölçüde cevap vermek, uzay teknolojileri için hâlihazırda kullanılabilecek yetenekleri kullanmak, uydu teknolojileri konusunda yetişmiş insan gücü oluşturmak gibi hedefler belirlenmiştir. RASAT uydusu güneşe eş zamanlı dairesel yörüngeye sahip ve yaklaşık olarak 700km yükseklikte uçmaktadır [3]. Çizelge 2.1. ile RASAT uydusunun özellikleri gösterilmiştir.

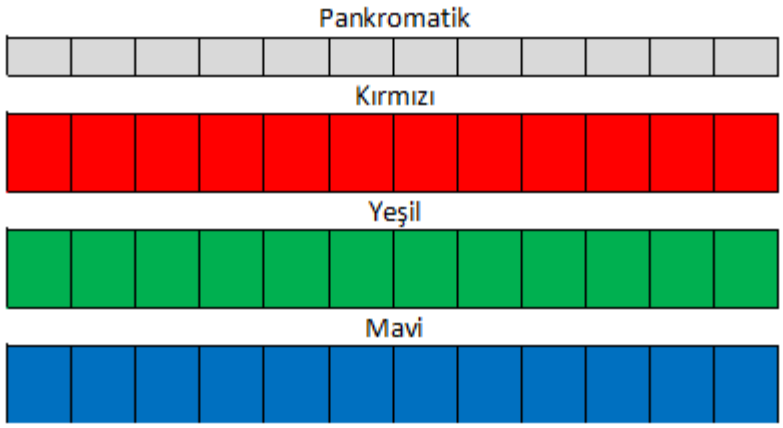
Çizelge 2.1. RASAT uydusunun özellikleri

Uydunun adı	RASAT
Ağırlık	93 kg
Yörünge	700 km'de dairesel, güneşe eşzamanlı
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
Radyometrik çözünürlük	8 bit
Zamansal çözünürlük	4 gün
Şerit genişliği	30 km
Faydalı yükler	• Optik faydalı yük: Stereoskopik görme özelliğine sahip Pushbroom görüntüleyiciden oluşmaktadır. • BiLGE: Spacewire veriyolu kullanabilen uçuş bilgisayarı. • GEZGiN-2: JPEG2000 algoritmaları ile yüksek hızda çok bantlı görüntü sıkıştırma ve şifreleme yapabilen yeni nesil görüntü işleme kartı.

Çizelge 2.1. (devam) RASAT uydusunun özellikleri

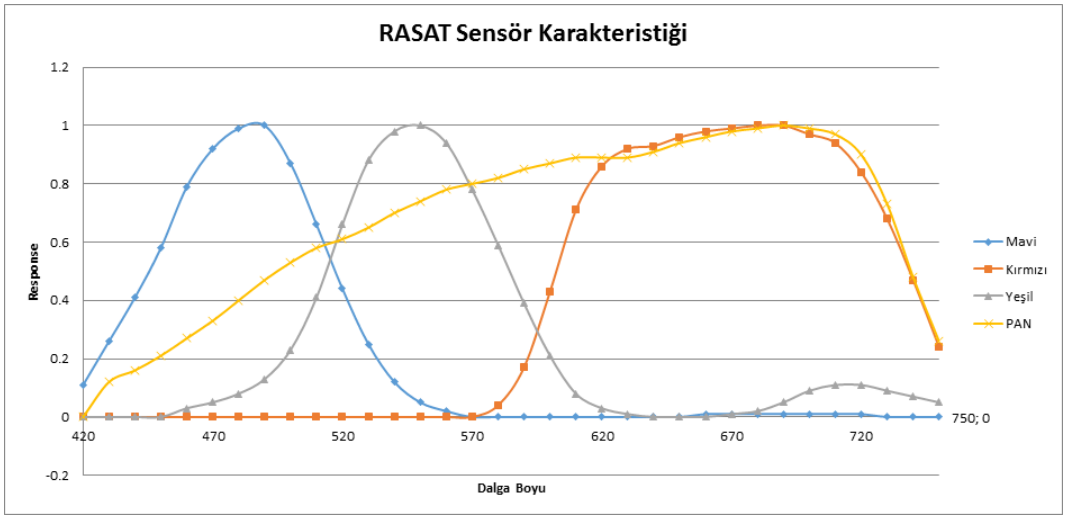
Tayfsal çözünürlük (µm)	0.42 – 0.73 (Pankromatik)
	1. Bant: 0.42 – 0.55 (Mavi)
	2. Bant: 0.55 – 0.58 (Yeşil)
	3. Bant: 0.58 – 0.73 (Kırmızı)

Rasat uydusu süpürçek (pushbroom) tipi algılayıcıya sahiptir. 30 km şerit genişliğine sahip ve bir seferde 32 kare (960 km) görüntü alabilmektedir. Uydunun pankromatik bantta 7,5 metre ve multispektral bantlarında 15 metre mekânsal çözünürlüğe sahip algılayıcıya sahiptir. Uydu üzerindeki CCD algılayıcılarının şeması Şekil 2.1. ile verilmiştir.



Şekil 2.1. RASAT uydusunun CCD yerleşimi

Uydunun sensor karakteristiği ve spektral çözünürlük bilgisi ise Şekil 2.2. ile gösterilen grafikte verilmiştir.



Şekil 2.2. RASAT uydusunun algılayıcı karakteristiği

2.2. GEZGİN Portali

RASAT uydusunun 3. yılında hizmete giren ve http://www.gezgin.gov.tr adresinden ulaşılabilen GEZGİN Portali RASAT uydusunun ve ileriki zamanlarda geliştirilecek olan yer gözlem uydularından sağlanan görüntülerin sergilenmesi ve kamu kurumları ile paylaşılması amacı ile geliştirilmiştir. Mevcut durumda Türkiye üzerinden alınan görüntüler ile bir mozaik görüntü oluşturulmuş ve kullanıma sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında analiz edilen yöntemler kullanılarak oluşturulan görüntüler bu portal üzerinden sergilenmektedir. Uydu sayısı arttıkça ve görüntü boyutları büyüdüğünde yapılan görüntü işleme işlemlerinin zaman ve doğruluk ölçüsü önem kazanmaktadır. Kamu kuruluşları ve üniversiteler ya da gov.tr,edu.tr,pol.tr,tsk.tr,k12.tr,bel.tr uzantılı e-posta adresleri ile GEZGİN portaline üye olunabilmekte ve 18 Ağustos 2014 tarihinden beri www.gezgin.gov.tr adresinden tüm görüntülere ücretsiz olarak ulaşabilmektedirler.

GEZGİN portalinde sunulan RASAT uydu görüntüleri pan keskinleştirme işleminden geçirilerek görüntü kalitesi artırılmaktadır. RASAT görüntüleri için kullanılan yöntem HCS yöntemi olarak belirlenmiştir. Pan keskinleştirme işleminin doğru mekânsal ve spektral çözünürlüğe sahip olması önemli olmakla birlikte bu işlemin çok sayıda yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsüne uygulandığında yüksek başarım ile tamamlanması gerekmektedir.

2.3. Merkezi İşlem Birimi

Günümüzde bilgisayar, telefon gibi elektronik cihazlarda kullanılan bir bilgisayar bileşenidir. Bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlar aritmetik ve mantıksal işlem yapabilme yeteneğine sahip bu bileşen sayesinde çalışmaktadır ve görüntü işleme algoritmalarını kolaylıkla çalıştırabilmektedir. Yakın zamanda geliştirilen merkezi işlem birimleri problemlerin çözümü için yüksek performans sunabilme yeteneğine sahiptir. Çok çekirdekli yapı sayesinde SIMD komutlarını bir saat çevriminde 128 bit bilgi üzerinde 16 operasyon gerçekleştirebilmektedir [4].

2.3.1. Saat Vuruşu Sıklığı

CPU, GPU veya FPGA gibi işlem birimleri eşzamanlı yapıya sahiptirler. Bu yapılar eşzaman bir sinyalde çalışacak şekilde geliştirilmişlerdir. Saat sinyali harici bir salıngaç (oscillator) tarafından kare dalga olarak üretilir. Bu sinyalin dalgası işlem biriminin çalıştırdığı komutların ne kadar sürede bir çalıştırdığını ifade eder. Saat vuruşu sıklığı arttıkça işlem biriminin çalışma hızı da artmaktadır [5].

2.3.2. Paralel İşleme

Aynı anda birden fazla komutun çalıştırılabilmesi durumudur. Mevcut işlem birimi mimarileri ele alındığında çok çekirdekli işlemci yapıları ve işlek yapısı ile paralellik sağlanmaktadır. Çok çekirdekli bilgisayar mimarisinin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için çok işlekli yapılar kullanmak ve buna uygun yazılım geliştirmek gereklidir [6]. Günümüzde paralel hesaplama akıllı telefonlardan masaüstü bilgisayarlara kadar her alanda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle görüntü işleme alanında bu felsefe ile ciddi performans artışı hedeflenmektedir.

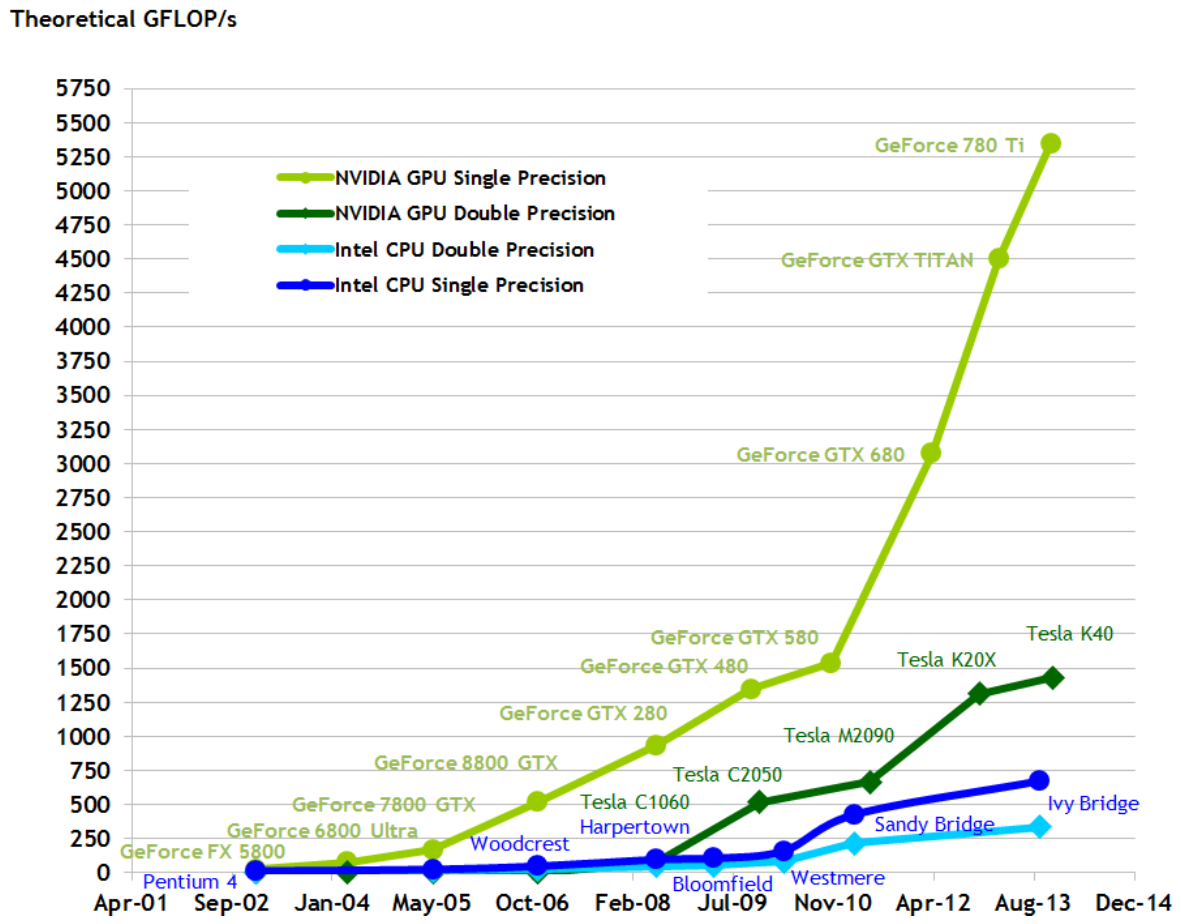
2.3.3. OpenMP

OpenMP, bilgisayar bileşenleri veya yazılım bileşenleri arasındaki haberleşme için bir alternatif arayüz sağlayarak yazılımların ölçeklendirilebilmesi için kullanılmaktadır. Paralel

programlama yöntemini bilgisayarın merkezi işlem birimine uygulamak için bu çalışmada kullanılmıştır.

2.4. Grafik İşlem Birimi

Grafik işlem birimi grafik oluşturma amaçlı uygulamaları hızlandırmak ve çalıştırmak için geliştirilmiş bir mikroişlemci türüdür. Grafik işlem birimleri (GPU) 1980'lerde sadece grafik işlemlerini gerçekleştirmek üzere tasarlanmış bir donanım olarak ortaya çıkmıştır. Daha sonraki yıllarda 3 boyutlu grafik işlemleri için oldukça yetenekli hale getirilmişlerdir [7]. GPU'lar paralel işlem komutları çalıştırmada geleneksel merkezi işlem birimlerine göre oldukça yüksek performans sunmaya başlamamıştır. Şekildeki grafikte GPU'ların CPU'lara göre gelişimi gösterilmiştir. Saniye başına kayan nokta operasyonu bazındaki karşılaştırmada GPU'lar hızla yükselişe geçmiş olup daha CPU'ya göre oldukça yüksek sonuçlar vermeye başlamışlardır. Bu durum Şekil 2.3. [8] ile görselleştirilmiştir.



Şekil 2.3. CPU ve GPU hız karşılaştırma grafiği

CPU ile GPU arasındaki kayan nokta performans farklılığın temelinde GPU'ların yoğun hesaplama yeteneği ve paralel hesaplama gibi grafik işleme yetenekleri için tasarlanmış olması vardır. Bu farklılığın arkasında akış kontrolü ve veri saklama ihtiyaçlarından ziyade veri işleme için daha çok transistor ayırılmış olmasıdır [8].



Şekil 2.4. CPU ve GPU çekirdek yapıları

Şekil 2.4.'te [8] görüldüğü gibi grafik işlem birimi bilgi işleme için merkezi işlem birimine göre daha çok transistor ayırmaktadır.

2.4.1. Genel Amaçlı GPU (GPGPU)

Son yıllarda paralel işlem yapabilme ve programlama alanında çalışmalar yapıldığından grafik işlem birimleri grafiksel olmayan amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır, bu sürece de GPU üzerinde genel amaçlı işlem yapma ismi verilmiştir. CPU ile GPU arasındaki performans farkı, yarı iletken teknolojilerindeki ilerleme her iki platform için geçerli olsa da iki birim arasında ki mimari farklılıklardan dolayı oluşmaktadır. CPU'lar ardışık kod dizilerini yüksek performans ile çalıştırmak için optimize edilmişlerdir, öte yandan GPU mimarileri paralel ve yüksek aritmetik işlem yapabilme odaklı tasarlanmıştır [9]. Bu farklılıklardan dolayı görüntü işleme gibi alanlarda grafik işlem birimleri kullanılmaya başlanmıştır ve önemli performans artışı sağlanmıştır. Modern grafik işlem birimleri vektörize edilmiş IEEE 754-2008 standardı kayan nokta operasyonlarını desteklemektedir.

Paralel veri işleme sürecinde veriler paralel çalışan işleklere eşleştirilmektedir. Böylece büyük veriler ile hesaplama yapan yazılımlar bu özellik sayesinde hesaplamalarını hızlandırabilirler. Biyolojik hesaplamalar, fizik simülasyonları, finansal hesaplamalar ve sinyal işleme gibi alanlarda birçok algoritma bu yöntem ile yüksek performanslı sistemlerde gerçekleştirilmektedir [8].

2.4.2. OpenCL

Açık Hesaplama Dili (OpenCL) genel amaçlı GPU programlama için Khronos grubu tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. [A. Munshi (Ed.), The OpenCL Specification, Khronos OpenCL Çalışma Grubu, 2009] Khronos grubu bu çalışmasında genel amaçlı paralel programlamanın CPU, GPU, FPGA ve diğer işlemciler için bir standart olmasını hedeflenmektedir. Açık kaynak olarak geliştirilen OpenCL standardı GPU üzerinde işlem yapmak hedefinde olan piyasa değeri yüksek firmalar tarafından desteklenmektedir [10]. OpenCL hem GPU hem de CPU üzerinde çalışabilmektedir. OpenCL standardını gerçekleştirebilen cihazlarda çalıştırılmak üzere C programlama dilinin ISO/IEC 9899:1999 sürümünü temel alan bir programlama dili kullanılmaktadır. C programlama dilinin daha verimli şekilde kullanılabilmesi için C dilinden farklılıklarından bazıları şunlardır [11]:

- Fonksiyon işaretçileri kaldırılmıştır
- Özyineleme kaldırılmıştır
- Değişken uzunluklu diziler kullanılmamaktadır
- Vektör veri tipi eklenmiştir
- Senkron biçimde çalışmak için yeni fonksiyonlar tanımlanmıştır

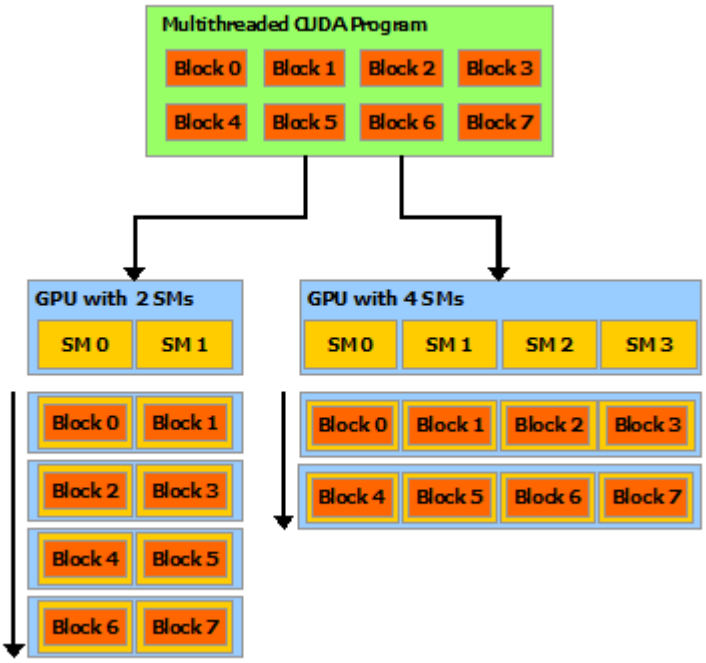
OpenCL çekirdek kod adı verilen ve cihaz (GPU) üzerinde çalıştırılan en temel kod dizisi olarak tanımlanan kodlar ile çalıştırılır. Bir piksel üzerine yapılacak olan bir seri operasyon olarak tanımlanabilmektedir [7].

2.4.3. CUDA

Birleşik Hesaplama Cihaz Mimarisi (CUDA) NVIDIA firması tarafından grafik işlem birimleri üzerinde çalışan C programlama dili ile genel amaçlı yazılım geliştirme mimarisi ve teknolojisidir. 2006 yılında karmaşık hesaplama problemlerini çözmek için paralel hesaplama mimarisi olarak geliştirilmiştir [8]. CUDA mimarisi içerisinde işlek gruplarının hiyerarşisi, paylaşımlı hafızalar ve bariyer eş zamanlaması gibi kavramları soyutlaştırılmıştır. Bu sayede görev ve veri paralelleştirilmesi sağlanmaktadır. Castano-Diez ve arkadaşları [12] yapmışları oldukları çalışmada CUDA platformunun avantajlarını aşağıda bulunan maddeler ile ifade etmişlerdir:

- Programlama dilinin söz dizimi konvansiyonel C programlama diline ufak eklentiler yapılarak geliştirilmiştir. Bu sayede daha önceden programlanmış yazılımların bu platforma daha kolay biçimde aktarılmasına yol açmaktadır.
- Veri tiplerindeki esneklik: GPGPU arayüzleri iki boyutlu veri çeşidine göre tasarlanmıştır, bu felsefe ile bazı veri erişim ilkelerinde sınırlılıklar oluşmaktadır. CUDA mimarisi ile sadece iki boyutlu veri tiplerinin yanında işaretçi kullanımı gibi kavramları içinde barındırmaktadır.
- CPU ile GPU arasındaki veri transferi esnasında olan gecikme gözle görülür biçimde minimize edilmiştir.
- GPU üzerindeki farklı fiziki hafıza seviyelerine ulaşıma izin verilmiştir. Bu sayede çalıştırılan kodun en uygun şekilde çalışması sağlanabilmektedir.
- Derleyici, hata ayıklayıcı, bilimsel kütüphaneler ve inceleme araçları gibi araçların içinde bulunduğu geliştirme ortamının iyi bir şekilde belgelenmiş olması ve bunların kullanıcılar ile paylaşılması.

CUDA mimarisi ölçeklendirilebilir programlama modeli sunmaktadır. Grafik işlem birimi yapısından bağımsız olarak tasarlanan yazılımların grafik kartı üzerinde en uygun biçimde çalıştırılması sağlanmaktadır.



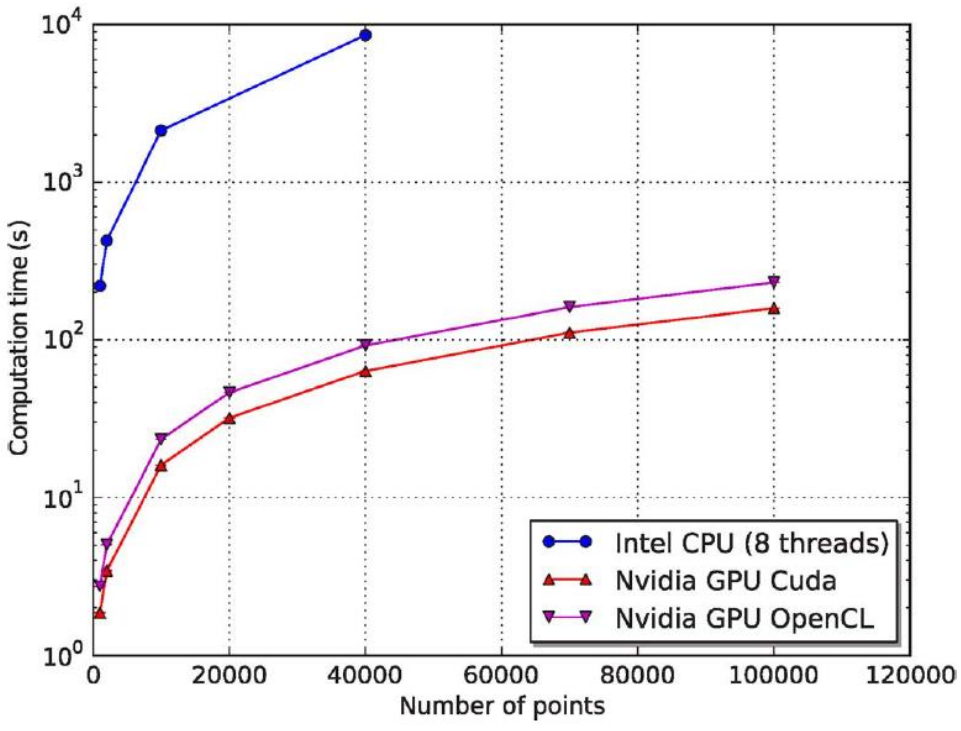
Şekil 2.5. CUDA ve GPU mimarisi

CUDA mimarisi ile farklı veriler aynı yazılım ile paralel bir biçimde çalıştırabilmektedir. Farklı veriler kullanılarak çalıştırılan uygulamanın bir kısmı, birçok farklı işlek olarak cihaz üzerinde çalıştırılan fonksiyonlara ayrıştırılabilmektedir. Şekil 2.5. [8] ile CUDA mimarisi gösterilmiştir. Görsel ile paralel çalışma mantığı anlaşılabilmektedir. Christophe ve ark. [7] yapmış oldukları çalışmalarında CUDA ve OpenCL arasındaki avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.2'de belirtilen maddeler ile ifade etmişlerdir.

Çizelge 2.2. CUDA ve OpenCL Karşılaştırması

	CUDA	OpenCL
Kernel kodu	Basit	Basit
Kernel kurulumu	Basit	Karmaşık
Taşınabilirlik	Düşük	Yüksek
Kütüphane Erişimi	Yüksek	Düşük

Karimi ve ark. [13] yapmış oldukları çalışmada OpenCL ve CUDA altyapıları kullanılarak geliştirilen yazılımlar üzerinde performans ölçümleri sunmuşlardır. Çekirdek kod performansı göz önüne alındığında OpenCL %13 ila %67 oranında daha yavaş çalıştığı gözlemlenmiştir.



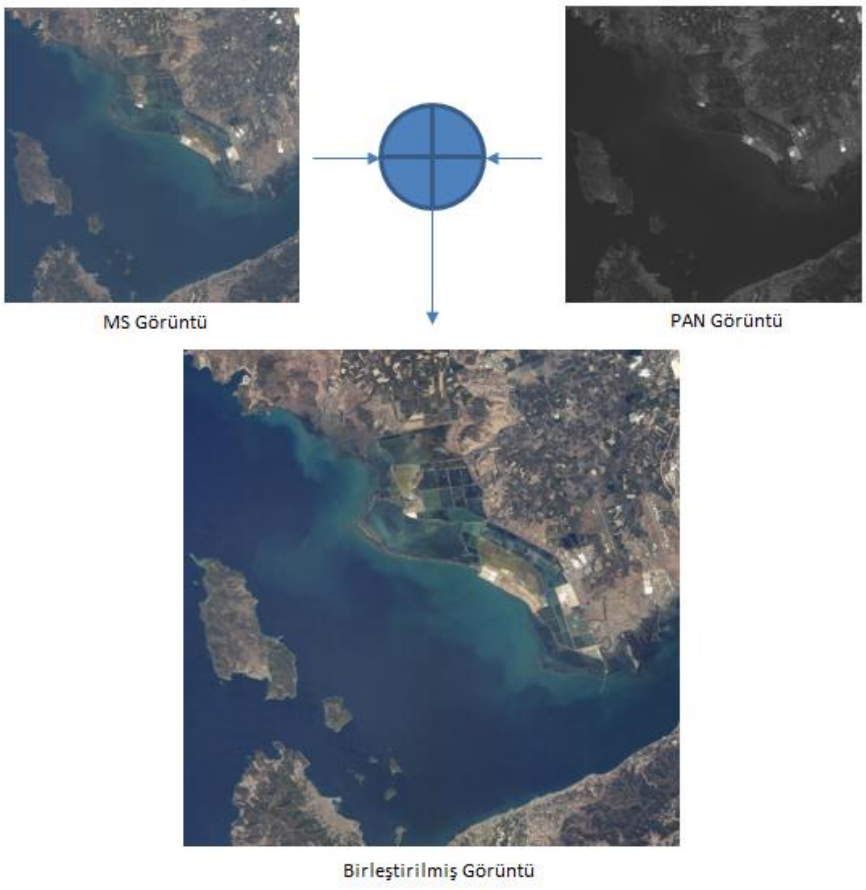
Şekil 2.6. CPU, OpenCL ve CUDA performans grafiği

Christophe ve ark. [7] yapmış oldukları çalışmalarında Şekil 2.6. ile gösterilen grafikte 36 megapiksel görüntü ile farklı donanım ile yapılan işlemlerin zamansal karşılaştırılmasını sunmuşlardır.

3. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME VE YÖNTEMLER

3.1. Görüntü Birleştirme

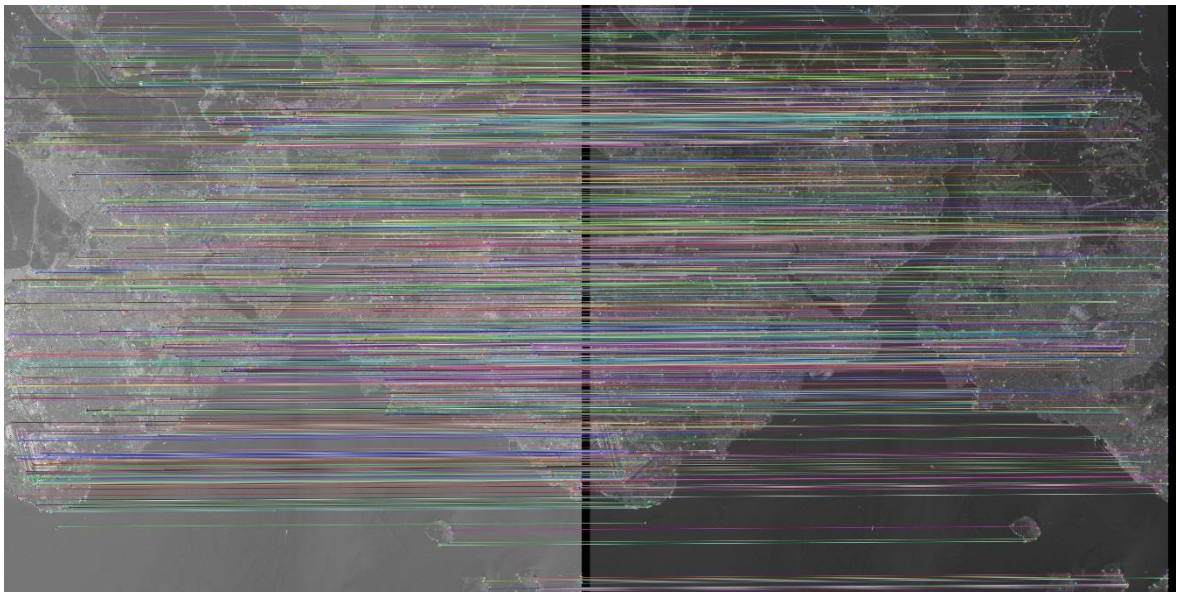
Pankromatik görüntü bilgisi ile spektral çözünürlüğü yüksek çok bantlı görüntünün piksel tabanlı füzyonu ile elde edilen çok bantlı ve yüksek mekansal çözünürlüğe sahip görüntüye pan keskinleştirilmiş görüntü adı verilir. Bu amaçla kullanılan yöntemlere de pan keskinleştirme yöntemleri adı verilir. Pan keskinleştirme yöntemleri görüntü birleştirme, çözünürlük birleştirme ve çoklu algılayıcı veri birleştirme olarak adlandırılmaktadır. Yer gözlem uyduları üzerindeki algılayıcılardan farklı mekânsal, radyometrik, ısıl ve spektral çözünürlükte 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 görüntüler daha verimli çalışmalara ulaştırmaktadır. Şekil 3.1. ile pan keskinleştirme yöntemi görselleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Pan keskinleştirme işlemi

3.1.1. Bant çakıştırma

Çok bantlı uydu görüntüsü oluşturulurken uydu üzerinde bulunan algılayıcılardan alınan görüntüler birleştirilmektedir. Bu farklı spektral aralığa sahip görüntüler aynı sensör yerine farklı algılayıcılardan algılanmasından kaynaklanan görüntüler arasında piksel bazında farklılıklar oluşmaktadır. Daha önce verilen RASAT uydusunun CCD algılayıcı modeli ele alındığında, algılayıcıların foton yakalama süreleri arasında milisaniye mertebesinde farklılıklar oluşabilmektedir. Bu farklılığı gidermek için görüntüler birleştirilmeden önce bant çakıştırma işlemine tabi tutulmaktadır [14]. Bu işlem sırasında görüntülerin önce bantlar arasındaki öznitelikler hesaplanır ve daha sonra bunlar eşlenerek görüntüler arasındaki dönüşüm hesaplanır. Şekil 3.2. ile iki görüntü arasındaki eşleşme gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bant çakıştırma için yer kontrol noktaları eşleştirilmesi

3.1.2. Görüntü ölçeklendirme

Keskinleştirilmiş görüntünün spektral bilgisinin doğru bir şekilde korunabilmesi için MS görüntüdeki bantların ölçeklendirilmesi yüksek önem arz etmektedir. Görüntünün ölçeklendirilmesi iki adımda gerçekleştirilmektedir. Ayrık halde olan bilgi matrisi sürekli fonksiyona ara değerleme yapılır ve bu işlemden sonra tekrar ayrık fonksiyona örneklenir [15]. Ölçeklendirilmiş görüntünün kalitesini belirleyen unsurlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [16]:

- Ölçeklendirme metodu kenar çizgilerini ve sınırları iyi bir şekilde korumalıdır ve ölçeklendirilmiş görüntü de kenar çizgileri tırtıklı biçimde olmamalıdır.
- Ölçeklendirilmiş görüntüde istenmeyen parçalı ve blok şeklinde bölgeler oluşmamalıdır.
- Ölçeklendirme metodu hesaplama yönünden verimli olmanın yanında görüntüden görüntüye değişen dâhili parametrelere ihtiyaç duymamalıdır.

Kübik ara değerleme metodu görüntü işleme alanında en yakın komşu (nearest neighbor) ve bilinear ara değerleme metotlarına kıyasla daha iyi sonuçlar sunmaktadır ve bu alanda bir standart haline gelmiştir [17]. Bu çalışmada ölçeklendirme için kübik ara değerleme metodu kullanılmıştır. 1'den K ya kadar örneklenmiş fonksiyon f; $g(x_k) = f(x_k)$. Eşit aralıklı bir boyut sinyal verisi için, konvolüsyon tabanlı ara değerleme fonksiyonu g, denklem 1'deki gibi yazılabilir. C_k temelde bir örnek noktası olup f_k ile gösterilir ve $u_k(x)$; $u_k(x - x_k/h)$ şeklinde gösterilebilir. Burada h örnekleme adımını gösterir ve x_k'lar ise $(x_k = kh)$ ara değerleme noktalarıdır.

Genellik kaybı olmadan, $h = 1$ kullanılarak denklem şu şekilde basitleştirilebilir:

$$g(x) = \sum_k f_k u(x - k) \tag{3.1}$$

KK ara değerleme çekirdeği, $(-2,-1),(-1,0),(0,1)\ ve\ (1,2)$ alt aralıklarda tanımlanmış parçalı kübik polinomlarında oluşmaktadır. Ara değerleme çekirdeği $(-2,2)$ aralığı dışarısında sıfırdır. Ara değerleme çekirdeği $u(t)$ şu şekilde tanımlanır:

$$u(s) = \begin{cases} (a+2)|s|^3 - (a+3)|s|^2 + 1 & 0 \le |s| < 1 \\ a|s|^3 - 5a|s|^2 + 8a|s| - 4a & 0 \le |s| < 2 \\ 0 & 2 \le |s| \end{cases} \tag{3.2}$$

Keys [18] ; KK ara değerleme fonksiyonu g ile olabildiğince çok terimin uyumlu olması için örneklemiş fonksiyon f'nin Taylor serisi açılımını zorlayarak (FORCING) en uygun katsayı $a = -1/2$ 'yi çıkarmıştır. KK ara değerleme a katsayısının bu seçimi için orijinal fonksiyonun 3. Derece yaklaşığını vermiştir. a katsayısının diğer seçimleri için En yakın komşu ara değerleme gibi 1. Derece yaklaşığını verir. Keys, ayrıca büyük uzaysal desteğin maliyetinde 4. Derece yaklaşım ile KK çekirdeği verir.

$a = -\frac{1}{2}$ kullanarak, KK ara değerleme çekirdek şu şekildedir:

$$u(s) = \begin{cases} \frac{3}{2}|s|^3 - \frac{5}{2}|s|^2 + 1 & 0 \le |s| < 1 \\ -\frac{1}{2}|s|^3 + \frac{5}{2}|s|^2 - 4|s| + 2 & 0 \le |s| < 2 \\ 0 & 2 \le |s| \end{cases} \quad (3.3)$$

KK metodu her ara değerleme noktası için 4 örnekleme noktası kullanır. İki kez ara değerleme için s=1/2 her ara değerleme noktasında, KK ara değerleme filtresi [-1,9,9,-1]/16 olur. İki boyut KK ara değerleme fonksiyonu, tek boyut ara değerleme fonksiyonunun ayrılabilir bir uzantısıdır. 2 boyut ara değerleme, her koordinata göre tek boyut ara değerleme ile yapılabilir.

3.2. Görüntü Birleştirme Yöntemleri

Farklı yöntemler farklı uydu ve görüntü tipine göre daha iyi sonuçlar sunmaktadır. Buna bağlı olarak bu çalışmada hem konvansiyonel hem de bazı yeni görüntü birleştirme yöntemleri kullanılmış ve karşılaştırılmıştır.

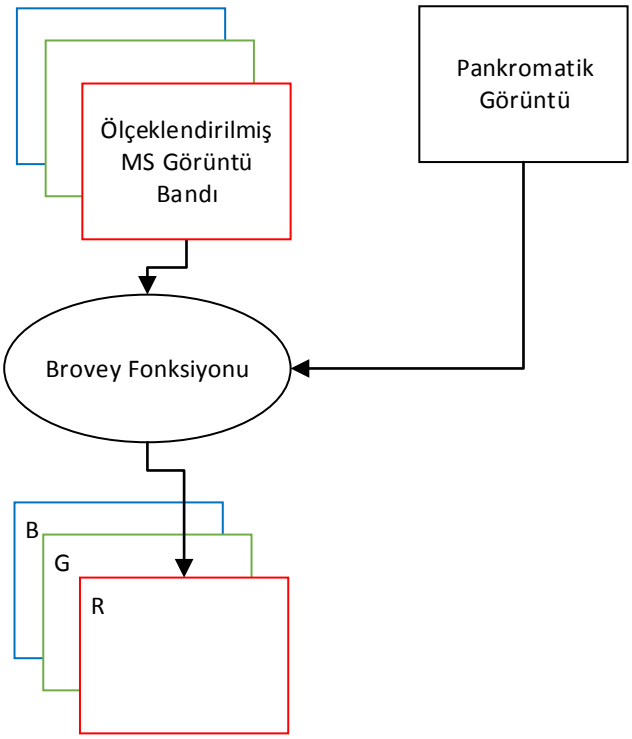
3.2.1. Brovey yöntemi

MS görüntünün her bir bandındaki görüntü pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilir ve pankromatik görüntü ile çarpma işlemine tabi tutulur. Bu işlemden sonra görüntü MS görüntü bantlarının toplamına bölünerek birleştirilmiş görüntü elde edilir. Bu yöntem pankromatik görüntünün mekânsal detaylarını birleştirmek için parlaklık modülasyon oranını kullanmaktadır [19].

$$I_i = \frac{P \times N}{\sum_{i=1}^{N} M_i} \quad (3.4)$$

$$I = \sum_{i=1}^{N} I_i \quad (3.5)$$

Burada N bant sayısını, I_i MS görüntünün i. bandına karşılık gelen yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüklü görüntü, M_i ise pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmiş MS görüntünün i. bandını ifade etmektedir. Şekil 3.3. ile Brovey yönteminin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.3. Brovey yöntemi blok diyagramı

Bu yöntem, eşitlikten de anlaşılabileceği üzere uydu görüntüsündeki keskinliği ön plana çıkarmak için kullanılan bir metottur. Yüksek mekânsal çözünürlük korunurken spektral çözünürlükte ise kayıplar yaşanmaktadır.

3.2.2. Yoğunluk renk doyumu

MS görüntünün her bir bandındaki görüntü pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilir ve bu bantlar IHS renk uzayına dönüştürülür. Daha sonra pankromatik görüntüsüne histogram eşitleme işlemi yapılır. Düşük mekânsal çözünürlüklü yoğunluk bandı yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik bandı ile yer değiştirilir ve elde edilen görüntü tekrar RGB renk uzayına dönüştürülür [20].

$$\begin{bmatrix} I \\ H \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{2\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_R \\ M_G \\ M_{\boldsymbol{B}} \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

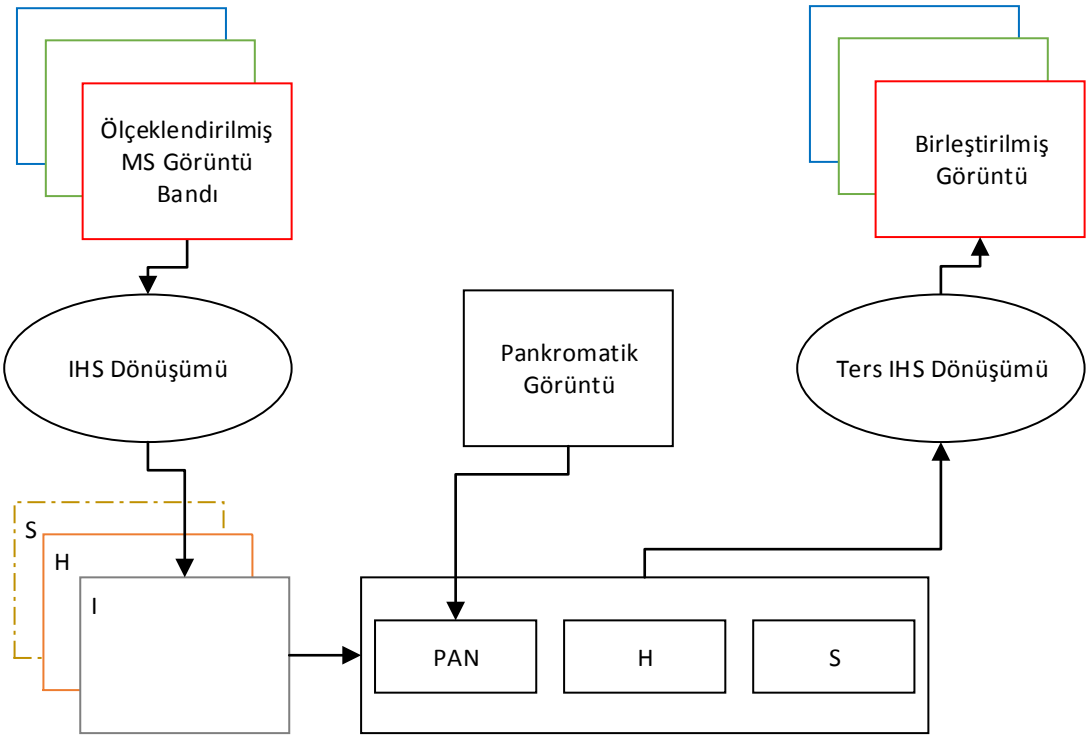
$M_{R,G,B}$ MS görüntüdeki bantların Pan bandına göre ölçeklendirilmiş hallerini ifade etmektedir. Yukarıda verilen denklemden IHS renk uzayındaki I yoğunluk matrisi hesaplanır.

$$P = \frac{\sigma_I}{\sigma_P}\big(P - \mu(P)\big) + \mu(I) \tag{3.7}$$

Pankromatik görüntüsü MS görüntünün ortalamasına ve varyansına göre ölçeklendirilir.

$$\begin{bmatrix} PS_R \\ PS_G \\ PS_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_R + P - I \\ M_G + P - I \\ M_{\boldsymbol{B}} + P - I \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

MS görüntünün her bir bandı ölçeklendirilmiş pankromatik görüntü ile toplanır, daha sonra bu toplam değerden yoğunluk değeri çıkartılarak birleştirilmiş görüntüde karşılık gelen bandı hesaplanır. IHS yönteminin Şekil 3.4. ile grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.4. IHS yöntemi blok diyagramı

3.2.3. Yumuşatma filtresi tabanlı yoğunluk modülasyonu (SFIM)

Spektral verinin korunabilmesi amacıyla geliştirilmiş olan SFIM metodu yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntünün alçak geçiren süzgeçten süzülmüş görüntüye oranını kullanarak, mekânsal çözünürlüğü yüksek spektral çözünürlüklü görüntü ile MS görüntünün spektral özelliklerini ve kontrastını değiştirmeden birleştirmek için kullanılır [21].

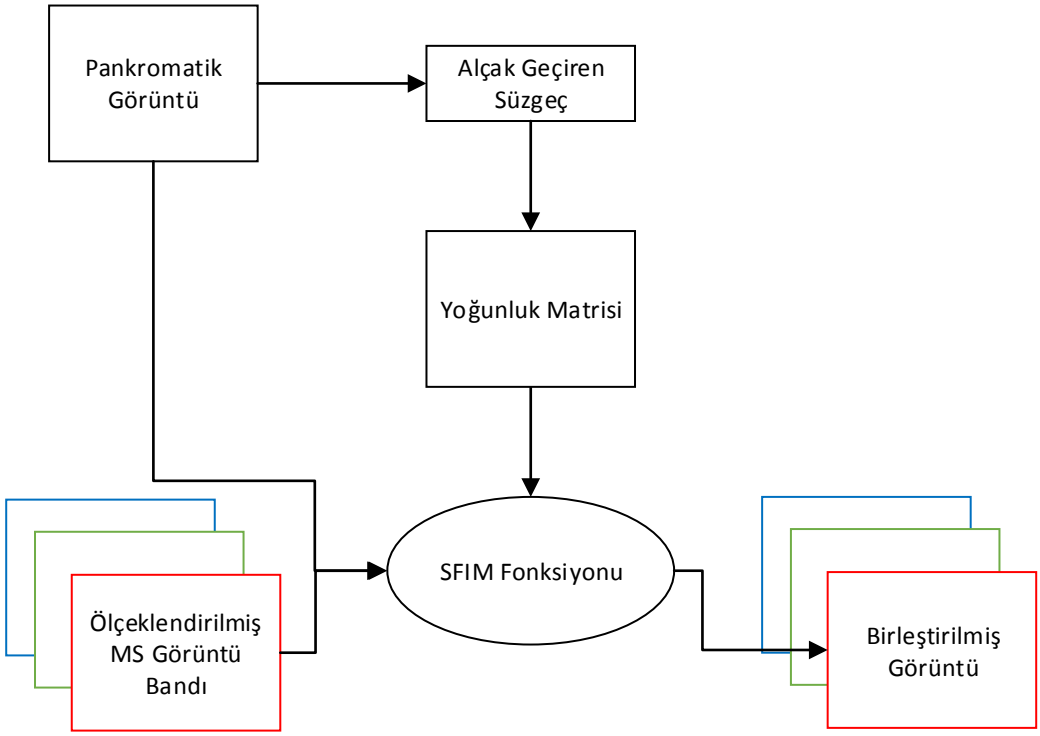
$$H = \frac{1}{r^2}\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ 1 & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

$$I = H(P) \tag{3.10}$$

Pankromatik görüntü H süzgeci ile süzülür. H süzgeci r-kare matris boyutunda alçak geçiren bir filtredir. Bu süzgeç ile yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip pankromatik görüntü yumuşatılır.

$$PS_i = \frac{M_i}{I} \times P \tag{3.11}$$

Pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmiş M_i görüntüsü ile süzgeçten geçirilmiş pankromatik görüntüye I ile bölünür. Daha sonradan pankromatik görüntü ile çarpılarak birleştirilmiş görüntünün $i.$ bandı hesaplanır.



Şekil 3.5. SFIM yöntemi blok diyagramı

Şekil 3.5. ile yumuşatma filtresi tabanlı yoğunluk modülasyonu yönteminin grafiksel gösterimi verilmiştir.

3.2.4. Renk doyum değeri (HSV)

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

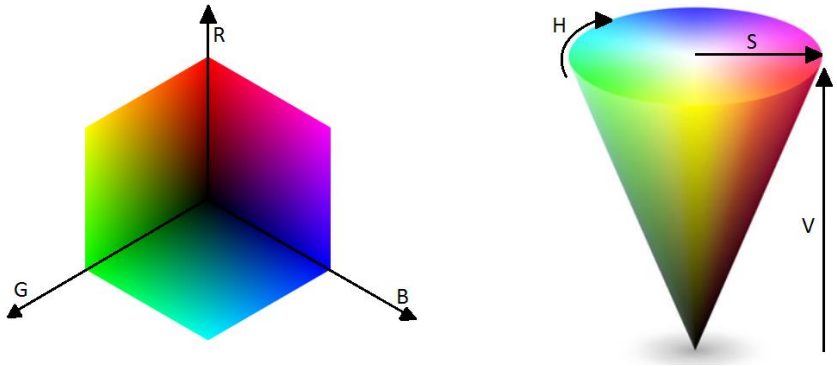
$$H = \cos^{-1} \frac{\frac{1}{2}\left[(M_R - M_G) + (M_R - M_B)\right]}{\sqrt{(M_R - M_G)^2 + (M_R - M_B)(M_G - M_B)}} \tag{3.12}$$

$$S = 1 - \frac{3}{M_R + M_G + M_B}[min(M_R, M_G, M_B)] \tag{3.13}$$

$$V = \frac{1}{3}(M_R + M_G + M_B) \tag{3.14}$$

$M_{R,G,B}$ ölçeklendirilmiş MS 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 [22].

$$\begin{bmatrix} PS_R \\ PS_G \\ PS_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}577 & -0{,}408 & -0{,}707 \\ 0{,}577 & -0{,}408 & 0{,}816 \\ 0{,}577 & 0{,}816 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ S \\ P \end{bmatrix} \tag{3.15}$$



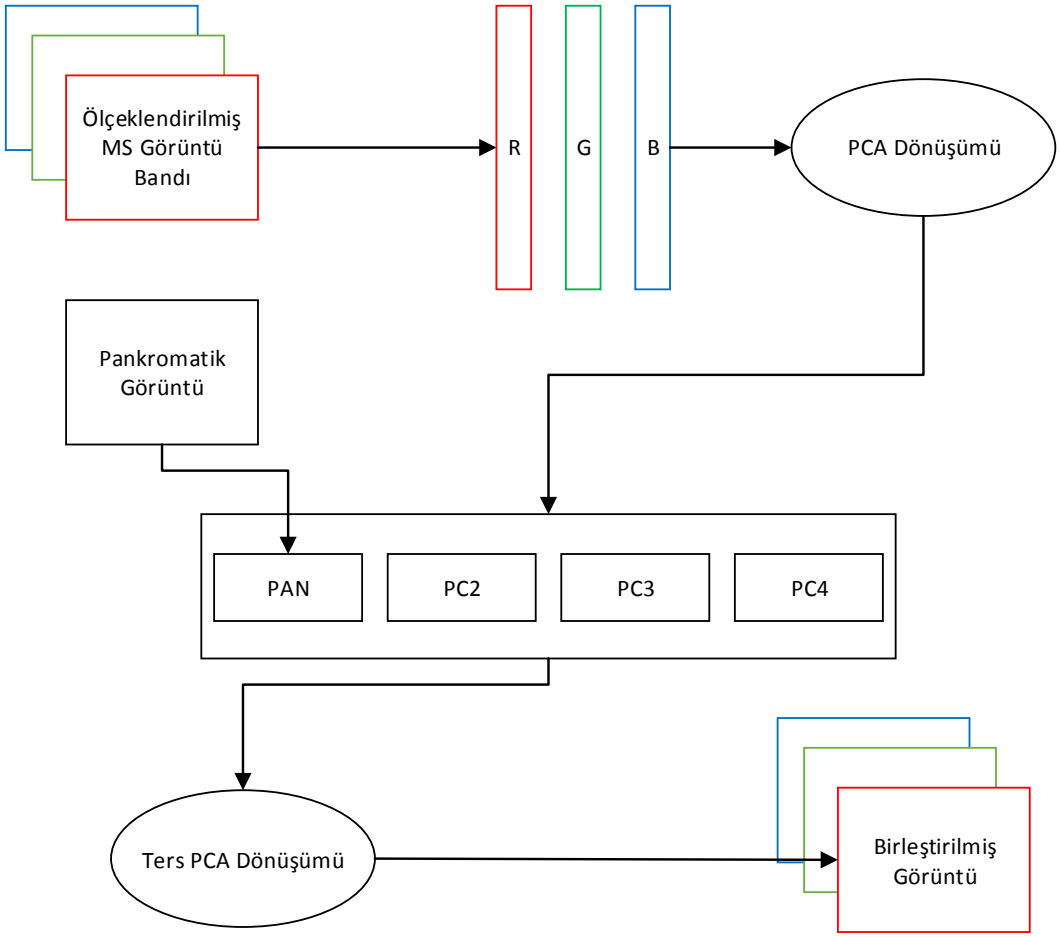
Şekil 3.6. RGB ve HSV renk-uzay grafikleri

Şekil 3.6. ile 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.

3.2.5. Temel bileşen analizi (PCA)

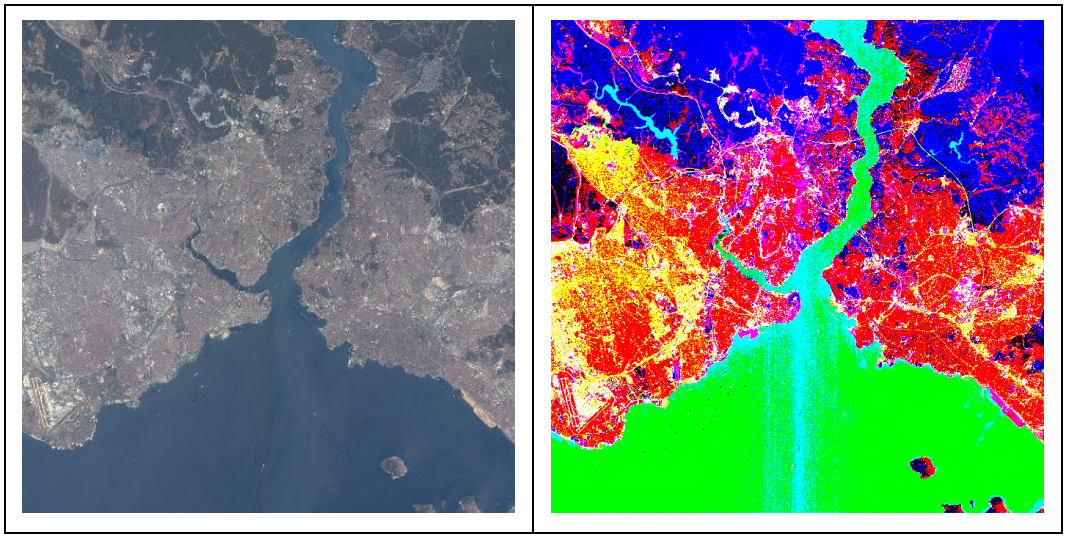
Bu yöntemde MS görüntüdeki birbirleri ile bağlantılı bantları pankromatik banda göre ölçeklendirildikten sonra temel bileşenlere dönüştürülür. Alınan ilk temel bileşen en yüksek çeşitlik değerine sahip olduğundan pankromatik görüntü ile benzerlik gösterir. Bu sebepten dolayı bu temel bileşen yerine pankromatik görüntü kullanılır [23]. Bu işlemlerden sonra bileşenler ters PCA dönüşümü yapılır ve yüksek çözünürlüklü birleştirilmiş görüntü elde edilir. PCA yöntemi MS 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] Yöntem adımları aşağıdaki gibidir [24].

- MS görüntülerinin pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmesi
- Elde edilen ölçeklendirilmiş görüntülerin temel bileşenlerine ayrılması
- Pan görüntü birinci temel bileşene göre normalleştirilmesi edilmesi
- Birinci temel bileşen yerine normalleştirilmiş edilmiş pankromatik görüntünün kullanılması
- Ters temel bileşenler analizi uygulanarak füzyonun gerçekleştirilmesi



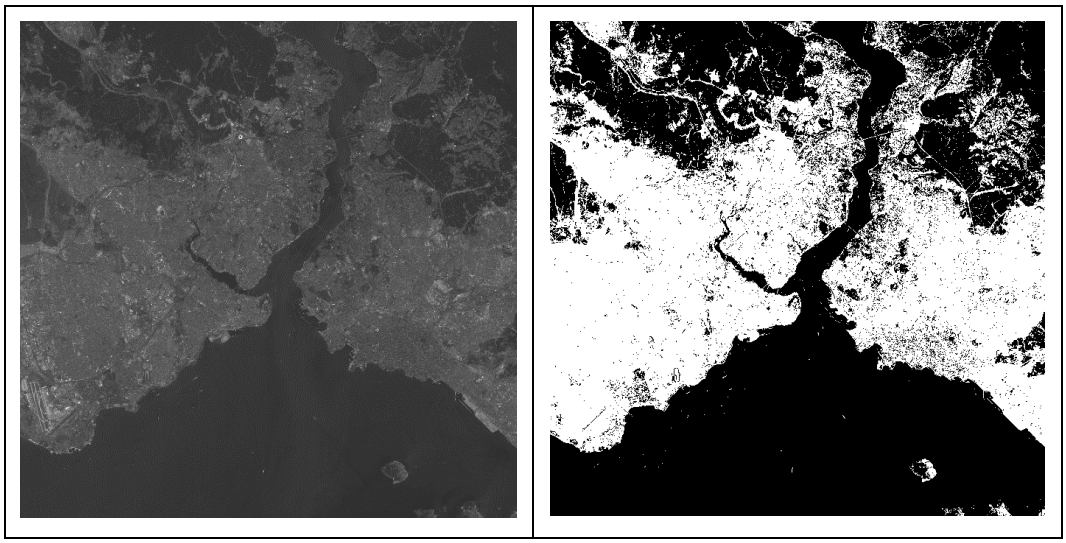
Şekil 3.7. PCA yöntemi blok diyagramı

Temel bileşenlerin bulunabilmesi için MS görüntünün her bandı bir matris olarak ele alındığında bu matrisin özvektörleri ve özdeğerlerinin bulunması gereklidir. Şekil 3.7. ile TBA yöntemi blok diyagramı verilmiştir. Özvektörleri ve özdeğerlerinin bulunması işlemi kovaryans matrisin köşegen olduğu eksen sistemini bulmaya eşdeğerdir. En büyük özdeğerli özvektör en büyük varyansın yönü olur. İkinci en büyük özdeğerli özvektör diğer en yüksek varyansa sahip dik (ortogonal) yöndür ve bu şekilde devam eder.



Şekil 3.8. PCA yönteminde MS görüntü ve ilk temel bileşeni

Şekil 3.8. ile verilen görüntü temel bileşenlerine ayrılırsa ilk bileşen ve en çok varyans değerine sahip görüntü şekildeki gibi elde edilir. Bu temel bileşen yerine pankromatik görüntüyü yerleştirmek için önce pankromatik görüntü normalize edilir. Bu normalizasyon ilk temel bileşenin ortalaması ve standart sapması ile pankromatik görüntün bu niteliklerinin çakışması için yapılır.



Şekil 3.9. PAN görüntü ve normalize edilmiş hali

Normalize edilmiş olan pankormatik görüntü içerisinde yüksek mekânsal veri barındırmaktadır. Bu mekânsal veri temel bileşenlere eklenerek ters PCA dönüşümü yapıldığında keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

3.2.6. Hiperküre renk uzayı (HCS)

Bu yöntem ilk olarak WolrdView-2 uydusunun 8 adet spektral banda sahip görüntüleri pan keskinleştirmek için geliştirilmiştir [25]. RGB renk uzayından hiperküre renk uzayına dönüşüm n-boyutlu kartezyen uzay 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.

$$I = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_N^2} \tag{3.16}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{M_N^2 + M_{N-1}^2 + \cdots + M_2^2}}{M_1}\right) \tag{3.17}$$

$$\varphi_{N-2} = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{M_N^2 + M_{N-1}^2}}{M_{N-2}}\right) \tag{3.18}$$

$$\varphi_{N-1} = \tan^{-1}\left(\frac{M_N}{M_{N-1}}\right) \tag{3.19}$$

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

$$M_1 = I\cos\varphi_1 \tag{3.20}$$

$$M_2 = I\sin\varphi_1\cos\varphi_2 \tag{3.21}$$

$$M_{N-1} = I\sin\varphi_1\sin\varphi_2\cdots\sin\varphi_{N-2}\cos\varphi_{N-1} \tag{3.22}$$

$$M_N = I\sin\varphi_1\sin\varphi_2\cdots\sin\varphi_{N-2}\sin\varphi_{N-1} \tag{3.23}$$

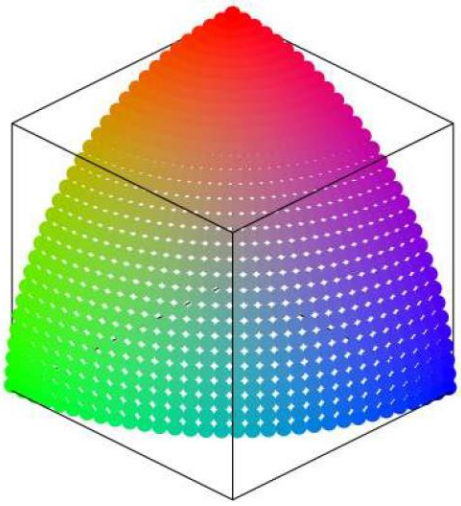
RASAT uydusunda olduğu gibi eğer MS görüntü sadece 3 bant barındırırsa aşağıdaki denklemler ile görüntüdeki yerli bileşenler hiperküre renk uzayına dönüştürülür.

$$I = \sqrt{M_R^2 + M_G^2 + M_B^2} \tag{3.24}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{M_B^2 + M_G^2}}{M_R}\right) \tag{3.25}$$

$$\varphi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{M_B}{M_G}\right) \tag{3.26}$$

Hiperküre renk uzayına dönüşümde φ_i açıları ton ve renk değerlerini ifade etmektedir. I renk yoğunluğu bileşeni ise kürenin yarıçapını ifade etmektedir. HCS ortamına görüntü aktarıldıktan sonra renk değeri değişmeden yoğunluk ölçeklendirilebilmektedir [25]. HCS ortamına dönüşüm herhangi bir doğal renk uzayından yapılabilmektedir. Şekil 3.10. ile HCS renk uzayı küresel düzlemde gösterilmiştir.



Şekil 3.10. HCS renk uzayı

RGB renk uzayından HCS ortamına dönüştürüldüğünde φ_1 ve φ_2 açılarının fonksiyonları verilen şekildeki gibi bir grafik oluşturmaktadır. Verilen grafik kürenin pozitif oktantındadır. Tüm renk bileşenleri pozitif olduğundan, HCS ortamının açısal bileşenleri gözlemlendiğinde $(\varphi_1, \varphi_2) = (0,0)$ konumunda kırmızı rengi, φ_1 açısı 90^odoğrultusunda değiştiğinde rengin yeşile doğru kaydığı ve , φ_2 açısı 90^o 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 sapmasını hesaplamamız gerekir.

$$I^2 = \sum_{i=1}^{N} M_i^N \tag{3.27}$$

$$P^2 = (Pan)^2 \tag{3.28}$$

$$Pan_{smooth} = SMOOTH(Pan) \tag{3.29}$$

$$PS^2 = (Pan_{smooth})^2 \tag{3.30}$$

RGB renk uzayındaki bilgi daha önce verilen formüllerle HCS ortamına dönüştürülür. P^2 ve PS^2 matrisleri aşağıdaki eşitlik ile I^2 matrisine yoğunluk bazında normalize edilir. Pankromatik bant bilgisi 7×7 kare boyutlu bir konvolüsyon filtresinden geçirilirse yumuşatılmış Pan_{smooth} matrisi elde edilir. Bu matris Smart HCS keskinleştirme için kullanılır.

$$\overline{P^2} = \frac{\sigma_I}{\sigma_P}(P^2 - \mu_P + \sigma_P) + \mu_I - \sigma_I \tag{3.31}$$

$$\overline{PS^2} = \frac{\sigma_I}{\sigma_P}(PS^2 - \mu_{PS} + \sigma_{PS}) + \mu_I - \sigma_I \tag{3.32}$$

P^2 Matrisinin ortalaması μ_P ve standart sapması σ_P ile PS^2 matrisinin ortalaması μ_{PS} ve standart sapması σ_{PS} ile ve aynı şekilde I^2 matrisinin ortalaması μ_I ve standart sapması σ_I ile temsil edilsin.

Keskinleştirme işlemi için $\overline{P^2}$ matrisinin karekökü alınır ve düzeltilmiş yoğunluk matrisi I_{adj} bulunur.

$$I_{adj} = \sqrt{\overline{P^2}} \tag{3.33}$$

Smart HCS keskinleştirme kullanılacak olursa, elde edilen normalize pankromatik bantlarının oranı kullanılarak bulunur.

$$I_{adj} = \sqrt{\frac{\overline{P^2}}{\overline{PS^2}} I^2} \tag{3.34}$$

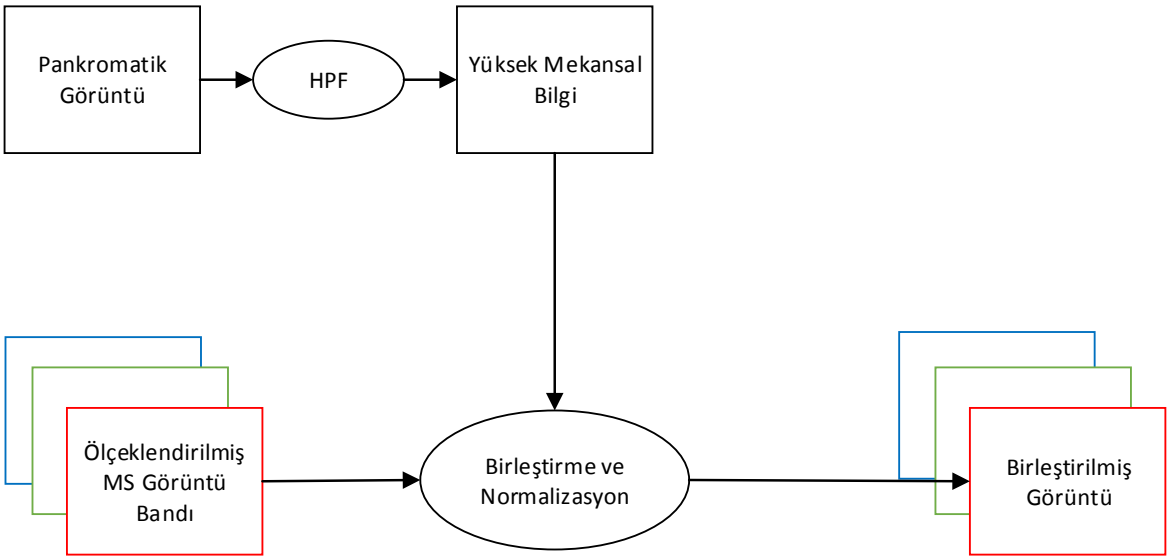
I_{adj} pankromatik bant kullanılarak keskinleştirilmiş yoğunluk bilgisini ifade etmektedir. Bulunan değerler doğrultusunda daha önce verilen RGB renk uzayına dönüşüm için kullanılan geri dönüşüm formülleri kullanılır. Bu formüllerde I matrisi yerine I_{adj} matrisi kullanır ve böylece birleştirilmiş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

3.2.7. Yüksek geçiren süzgeç (HPF)

Pankromatik bant bir yüksek geçiren süzgeçten geçirilerek elde edilen görüntünün MS görüntüdeki tüm bantlara uygulanması esasına dayanır. Şekil 3.11 ile HPF yöntemi grafiksel olarak ifade edilmiştir. Bu yöntemde mekânsal bilginin kullanımı daha optimize edilmek amacıyla elde edilen keskinleştirilmiş bantlar orijinal görüntünün bantlarına göre normalize edilir.

- MS görüntülerinin pankromatik görüntüye göre ölçeklendirilmesi
- Süzgecin boyutu pankromatik bant ile MS görüntü bantları arasındaki orana göre seçilir [26].
- Buna göre seçilen filtre uygulanarak bir keskin görüntü elde edilir.
- MS görüntüdeki bantlara göre elde edilen oran kullanılarak süzgeçten geçirilmiş görüntü normalize edilir.
- Elde edilen görüntü ile MS görüntüdeki ölçeklendirilmiş bantlar birleştirilir

- Elde edilen renkli görüntü, orijinal MS görüntü ile standart sapması ve ortalaması eşitlenecek şekilde tekrar normalize edilir ve yüksek mekânsal çözünürlüklü renkli görüntü elde edilir.



Şekil 3.11. HPF yöntemi blok diyagramı

Bu yöntemde çok bantlı görüntüler üzerinden kabul edilebilir sonuçlar vermektedir, fakat görüntüdeki eşik noktaların fazla vurgulandığı durumlar olabilmektedir [26].

3.2.8. Optimized HPF yöntemi

Bu yöntem HPF algoritmasına birçok yönden benzemektedir. Yüksek geçiren süzgeç pankromatik bant ve çok bantlı görüntünün oranına göre seçilmektedir. HPF yönteminden farklı olarak yüksek geçiren süzgeç pankromatik görüntüye iki kez art arda konvolüsyon işlemi uygulanır. HPF yönteminden başka bir fark olarak MS görüntün tüm bantlarının standart sapması ve ortalaması görüntü birleştirilirken ağırlıklı toplama için kullanılır. Bu ağırlıklı toplam ile görüntünün spektral korunumu daha fazla sağlanır. Bu iki eklenti sonucunda mekânsal ve spektral bilginin daha fazla korunumu sağlanmaktadır. Sonuçların ölçümlerde pozitif yönde etki yapması beklenmektedir.

3.2.9. Gram-Schmidt yöntemi

Bu yöntemde diğer yöntemlerden farklı olarak MS görüntüsündeki bantlar pankromatik banda göre ölçeklendirilmemektedir. Bunun yerine MS görüntü bantlarının doğrusal birleşimi ile düşük mekânsal çözünürlüklü bir pankromatik görüntü elde edilir [27]. Gram-Schmidt Dikgen Algoritması ile bu görüntü ve MS görüntü bantları dikleştirilip görüntüler birbirinden bağımsız hale getirilir. Daha sonra görüntüler orijinal pan görüntüye göre ölçeklendirilip keskinleştirilmiş görüntü elde edilir. Algoritma şöyle gerçekleştirilmektedir:

- MS görüntü bantlarından düşük mekânsal çözünürlüklü bir pankromatik görüntü elde edilir.
- Gram-Schmidt dikleştirme yöntemi ile MS görüntü bantları dikleştirilir.
- Kırmızı bant pankromatik banda göre dik açı yapacak şekilde kaydırılır
- Yeşil bant kırmızı ve pankromatik banda dik (ortogonal) olacak şekilde döndürülür
- Mavi bant pankromatik, kırmızı ve yeşil bantlara dik olacak şekilde döndürülür ve görüntüler birbirinden bağımsız gale getirilir
- Görüntüler ters Gram-Schmidt algoritması ile geri alındıktan sonra ölçeklendirilir ve birleştirilir.

3.3. Unsharp Yöntemi

Daha önceden belirtilen pan keskinleştirme yöntemleri birleştirilmiş görüntüye mekânsal detay katmak için kullanılmıştır. Unsharp maskesi görüntüdeki keskinliği arttırmak için kullanılmaktadır. Bu yöntemde pankromatik görüntüye unsharp maskesi uygulanarak pan keskinleştirme yöntemlerine ek olarak keskinleştirilmiş pankromatik görüntü kullanılarak detay artırımı sağlanmaktadır. Bu yöntem sigma, ağırlık ve eşik değeri olmak üzere 3 ayrı parametre ile kullanılmaktadır. Sigma değeri konvolüsyon matrisinin merkez pikselden olan uzaklığını ifade eder. Ağırlık değeri ise keskinliğinin derecesini belirler. Eşik değeri görüntüdeki gürültüyü azaltmak için belirlenir. Bu yöntem Gaussian alçak geçiren filtre kullanılarak gerçekleştirilir.

Görüntüler birleştirilmeden önce orijinal mekânsal bilginin üzerinde işlem yapıp mekânsal bilginin korunması daha verimli sonuçlar üretmektedir. Görüntü birleştirildikten sonra

pankromatik bant bilgisi spektral uzaya dönüştürüldüğünden detay artırımı daha az olacaktır. Pan keskinleştirme yöntemlerine bir ön işleme yöntemi gibi eklenmesi birleştirme işleminin sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir. Unsharp temelli Pansharp yöntemleri Göktürk-2 görüntüleri için uygulanmıştır [28].



Şekil 3.12. Unsharp yöntemi kullanılmayarak birleştirilmiş görüntü



Şekil 3.13. Unsharp yöntemi kullanılarak birleştirilmiş görüntü

Şekil 3.12. ve Şekil 3.13. incelendiğinde unsharp yönteminin görüntüdeki mekânsal detayı artırarak nesnelerin bir birinden daha kolay ayırt edilebilmesini sağlamaktadır. Mekânsal bilginin korunumu sağlanırken renklerin her bir bant için histogramına etkisi oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu etki görsel değerlendirmelerde olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

4. ÖLÇÜTLER

Pan keskinleştirilmiş görüntülerin kalite bakımından değerlendirilebilmesi için görsel bir ölçümlemenin yeterli olmayacağı açıkça ortadadır. Pan keskinleştirilmiş görüntüler için oldukça çeşitli sayısal değerlendirme yöntemleri önerilmiştir. Görüntülerin hem spektral hem de mekânsal çözünürlük kalitesini ölçen sayısal değerler mevcuttur. Fakat bu ölçümleme yöntemleri hem mekânsal hem de spektral çözünürlüğü analiz edebilen birbirini tamamlayıcı değerler sunmalıdır. Örneğin yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip görüntüler genellikle spektral çözünürlük anlamında kısıtlı kalite değerleri sunmaktadır. Bu bakış açısı ele alındığında ölçümleme yöntemleri birbirlerini tamamlayıcı nitelikte olmalıdır.

Mevcut görüntülerin daha yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüğe sahip çeşitleri olmamasından dolayı karşılaştırma sonuçlarından yapılan değerlendirme hassas ve kesin sonuçlar vermemektedir.

Bu sorunlar ele alındığında ölçümleme yapmak için referans görüntüye ihtiyaç duymayan ölçümlerin kullanılması hedeflenmektedir. Bir başka yöntem olan ve Wald [29] tarafından sunulan tutarlılık özelliği ile spektral başarı anlamında değerlendirme yapılabilmektedir. Bu yöntemde pan keskinleştirilmiş görüntü çoklu bant (MS) görüntü ile karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilebilmektedir. Aynı mekânsal çözünürlüğe sahip referans bir görüntüye sahip olmadan yapılan bu yöntem karşılaştırma için nispeten pan keskinleştirme yöntemi ölçümlemesi için doğru sonuçlar vermektedir.

Benzer bir durum mekânsal çözünürlük için de geçerlidir. Bu durumu çoklu bant görüntü ile mekânsala çözünürlüğü çoklu bant görüntü düzeyine getirilmiş pan keskinleştirilmiş görüntüyü karşılaştırarak aradaki ilişki değerlendirilebilir. Aynı şekilde PAN görüntü ile pan keskinleştirilmiş görüntün bantları arasındaki ilişki de değerlendirilebilmektedir.

Bu bilgiler ışığında ölçümleme yöntemlerini referans görüntüye ihtiyaç duyulan ve duyulmayan olmak üzere iki grupta incelenebileceğine karar verilmiştir. Her iki grupta da mekânsal ve spektral çözünürlük kalitesi değerlendirilecektir.

4.1. Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE)

Pan keskinleştirilmiş görüntü ile çok bantlı görüntü arasındaki hatayı gösteren bir ölçüttür. Pan keskinleştirilmiş görüntüdeki mekânsal ve spektral kalite değerlendirmesi için kullanılmıştır. Bu denklem sonucu sıfıra yakınsadığı kadar görüntü kalitesi belirlenmektedir.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_x \sum_i (X_i(x) - Y_i(x))^2}{n \times m \times d}} \tag{4.1}$$

X çoklu bant görüntüyü, Y pan keskinleştirilmiş görüntüyü, x piksel indeksini ve i bant numarasını göstermektedir. Bölen kısımda ise n satır sayısını, m sütun sayısını ve d bant sayısını ifade etmektedir [30].

4.2. Tayfsal Açı Haritalayıcı (SAM)

Bu ölçüt iki spektral vektör arasındaki spektral benzerliği spektral açı olarak göstermektedir. Bu açı her bir piksel için hesaplanmaktadır. Elde edilen açı değerlerinin aritmetik ortalamasının sıfıra yakın olması ideal olmaktadır [31].

$$cos\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i y_i}{\sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} y_i^2} \tag{4.2}$$

Bu denklemde bant sayısı N ile, $x = (x_1, x_2, \ldots, x_N)$ ve $y = (y_1, y_2, \ldots, y_N)$ değerleri ile çoklu bant görüntüdeki ve birleştirilmiş görüntüdeki sırasıyla aynı konuma denk gelen spektral vektör değeridir. SAM değeri tüm görüntüdeki tüm α değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

4.3. Göreceli Ortalama Tayfsal Hata (RASE)

RMSE denkleminin sonucu ile her bir spektral bant için ortalama başarıyı hesaplamada kullanılır. Bu değerin sıfıra yakınsaması görüntü kalitesini arttırmaktadır [32].

$$\mathrm{RASE} = \frac{100}{M}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathrm{RMSE}^2(B_i)} \tag{4.3}$$

4.4. Bağıl Boyutsuz Küresel Hata Sentezi (ERGAS)

Birleştirilmiş görüntüdeki mekânsal bilginin spektral bilgilerine dönüştürülme kalitesini ölçmektedir [33].

$$\mathrm{ERGAS} = 100\,\frac{h}{l}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\mathrm{RMSE}(n)}{\mu(n)}\right)^2} \tag{4.4}$$

N ile bant sayısı, RMSE ile kök ortalama kare hatası $\frac{h}{l}$ ile PAN görüntüdeki piksellerin MS görüntüdeki piksellere oranını, $\mu(n)$ ise n. bandın ortalamasını ifade etmektedir.

4.5. Evrensel Görüntü Kalitesi İndeksi (QAVE)

Bu yöntemde ilişki kaybı, aydınlanma bozulması ve kontrast bozulması olarak 3 farklı faktörün kombinasyonunu incelenir [34].

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{\left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2\right)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]} \tag{4.5}$$

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

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N} x_i \qquad \bar{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N} y_i \tag{4.6}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=0}^{N}(x_i - \bar{x})^2 \qquad \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=0}^{N}(y_i - y)^2 \tag{4.7}$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=0}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \tag{4.8}$$

4.6. Spektral Bilgi Farklılığı (SID)

Bu ölçüt bilişim teknolojileri alanında sıkça kullanılmaktadır. Her bir pikselin spektrumu bir rasgele değişken olarak kabul edilir ve MS ve birleştirilmiş görüntüdeki iki spektral vektörün farkını ya da uyuşmazlığı gösterir [35]. $x = (x_1, x_2, \ldots, x_N)^T$ ve $y = (y_1, y_2, \ldots, y_N)^T$ sırasıyla MS ve birleştirilmiş görüntüdeki vektörler olarak ifade edilirse ve bu vektörler [0,1] aralığına normalize edilecek olursa aşağıdaki gibi yapılır.

$$p_j = \frac{x_j}{\sum_{i=1}^{N} x_i} \qquad p_j = \frac{x_j}{\sum_{i=1}^{N} x_i} \tag{4.9}$$

N bant sayısını ifade etmektedir.

$$SID(x,y) = D(x||y) + D(y||x) \tag{4.10}$$

$D(x||y)$ göreceli entropiyi ifade eder ve $D(x||y) = \sum_{i=1}^{L} p_i \log\frac{p_i}{q_i}$ eşitliği ile bulunur. $D(y||x)$ değeri de benzer biçimde bulunur.

4.7. Bağlılık Katsayısı (CC)

$$CC(X,Y) = \frac{\sum_{mn}(X_{mn} - \bar{X})(Y_{mn} - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_{mn}(X_{mn} - \bar{X})^2)(\sum_{mn}(Y_{mn} - \bar{Y})^2)}} \tag{4.11}$$

$\bar{X}$ ve $\bar{Y}$ sırasıyla MS ve birleştirilmiş görüntülerin ortalamasını ifade etmektedir. İki görüntü arasındaki bağlılık katsayısı yukarıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir.

4.8. Mekânsal

Pankromatik görüntü ile birleştirilmiş görüntünün her bir bandını bir süzgeçten geçirip mekânsal benzerliğini karşılaştırarak bir ölçüt ortaya çıkarır. Bantlardaki yüksek frekanslı bilginin ortaya çıkarılması için aşağıdaki maske ile konvolüsyon işlemine tabi tutulur. [23]

$$maske = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \tag{4.12}$$

Ölçüt değeri MS görüntün her bir bandının ortalama CC değeridir.

4.9. QNR Spektral Ölçütü

QNR D_λ spektral bozulması aşağıdaki gibi hesaplanır [34].

$$D_\lambda = \frac{1}{N_B(N_B-1)} \sum_{l=1}^{N_B} \sum_{r=1, r\neq 1}^{N_B} \left| Q(F_l, F_r) - Q\left(\widehat{F}_l, \widehat{F}_r\right) \right| \tag{4.13}$$

N_B bant sayısını, F birleştirilmiş görüntüyü ve F MS görüntüyü son olarak Q ise evrensel görüntü kalitesi indeksi(QAVE) değerini ifade etmektedir.

4.10. QNR Mekânsal Ölçütü

QNR D_s spektral bozulması aşağıdaki gibi hesaplanır [34].

$$D_s = \frac{1}{N_B} \sum_{l=1}^{N_B} \left| Q(F_l, P) - Q\left(\widehat{F}_l, \widehat{P}\right) \right| \tag{4.14}$$

N_B bant sayısını, P pankromatik görüntüyü, $\hat{P}$ MS ile aynı boyuta alçaltılmış olan pan görüntüyü, F MS görüntüyü ve Q ise evrensel görüntü kalitesi indeksi(QAVE) değerini ifade etmektedir.

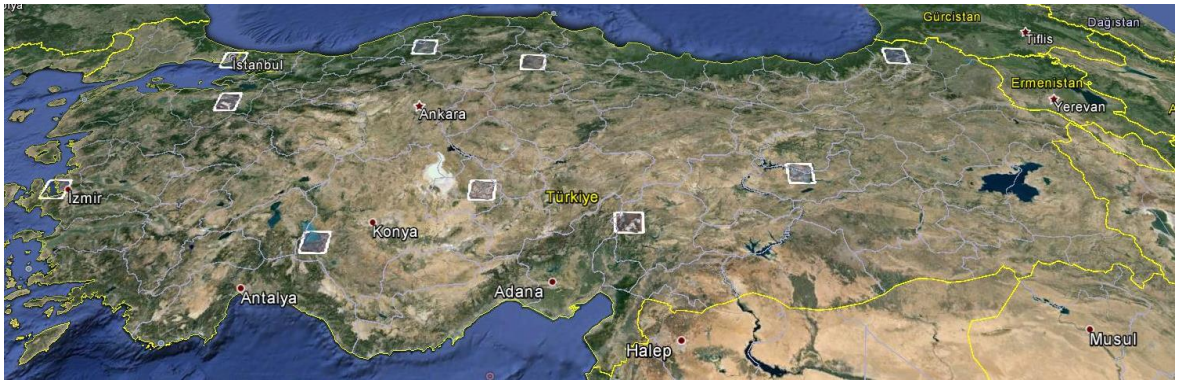
5. TESTLER

5.1. Test Verileri

RASAT uydusu tarafından farklı zamanlarda farklı mekânların görüntüleri pan keskinleştirme algoritmalarının testi için kullanılacaktır. Görüntüler GEZGİN Portal (www.gezgin.gov.tr) üzerinden alınmış olup tamamı Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisindedir. Görüntüler farklı coğrafik özelliklere sahip olduğundan genel bir ortalama alınması hedeflenmektedir. Görüntü boyutları pankromatik bant için 4096x4096 piksel, MS görüntü bantları için ise 2048x2048 piksel olmaktadır. 8-bit renk değerine sahip görüntülerde bir piksel için yoğunluk değeri 0 ile 255 arasında olmaktadır. Görüntülerin aşağıdaki özellikleri değerlendirme için kullanılacaktır:

- Yuvarlanma (roll) açısı
- Aydınlanma değeri
- Bulutluluk oranı
- Coğrafi özellikleri
- Renk spektrumu genişliği

Bu özellikler arasında renk spektrum genişliği ve coğrafi özellikler yöntemlerin performans analizi için önemli etkenler olarak kabul edilmiştir. Bulutluluk ve kar dolayısı ile oluşan beyaz piksellerin yoğunluğu yine bu çalışmada sonuçlara nasıl yansıdığı hesaplanıp görülecektir. Görsel olarak analiz edilirken yanıltıcı olan renkler gerçek renkleri tam olarak temsil edemediğinden insan gözü ile yapılan gözlemler doğru sonuçlar verememektedir.

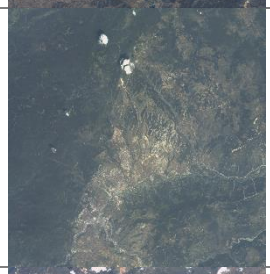


Şekil 5.1. Test görüntülerin Türkiye üzerindeki konumları

Çizelge 5.1. Test görüntüleri

Görüntü Adı	Çekim Zamanı	Yuvarlanma Açısı	Aydınlanma	Ön izleme
Aksaray	05.06.2012 08:58:59 UTC	5,030888	0,894327	
Artvin	25.07.2012 08:31:17 UTC	0,700414	0,867730	
Konya, Beyşehir	17.10.2012 09:12:07 UTC	2,646804	0,538692	
Elazığ	14.04.2013 08:52:33 UTC	4,840128	0,808787	
Kahraman-maraş, Göksun	18.12.2014 09:10:50 UTC	0,019882	0,658102	
İstanbul	29.07.2013 09:37:18 UTC	-1,170310	0,867355	

Çizelge 5.1. (devam) Test görüntüleri

Görüntü Adı	Çekim Zamanı	Yuvarlanma Açısı	Aydınlanma	Ön izleme
İzmir	21.09.2013 09:45:19 UTC	-0,166091	0,797825	
Çorum, Osmancık	06.10.2012 09:01:13 UTC	-0,483983	0,606253	
Karabük, Safranbolu	26.06.2014 09:37:29 UTC	5,962107	0,906045	
Yalova	07.05.2012 09:12:29 UTC	-5,677180	0,854929	

Şekil 5.1. ile test için kullanılan görüntülerin Türkiye üzerindeki konumları gösterilmiştir, ayrıca Çizelge 5.1. ile bu görüntülerin isimleri, çekim zamanları, çekim açıları ve aydınlanma değerleri verilmiştir.

5.2. Test Ortamı

Algoritmaların gerçekleştirilmesi için önce MATLAB ortamında bilgisayar kodları yazılmıştır. Buradan sonuç alındıktan sonra önce C++ ve daha sonra CUDA çekirdek kodları yazılıp algoritmalar gerçekleştirilmiştir. Yazılım ve donanım olarak test ortamını ayırmak gerekirse, donanım olarak aşağıdaki özelliklere sahip bir bilgisayar kullanılmıştır:

- Intel Core i7-3820 (3.6GHz, 4 Çekirdek / 8 İşlek, 10MB Cache)

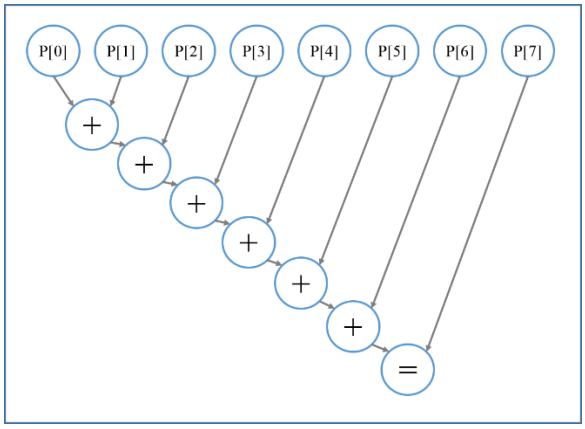
- 64GB 1600MHz DDR3 RAM
- NVidia GeForce GTX TITAN 6GB DDR5 (2688 CUDA Çekirdeği)
- SATA-3 HDD 5400RPM

Yazılım olarak ise aşağıda belirtilen araç ve kütüphaneler kullanılmıştır:

- MATLAB 2014a with Image Processing Toolkit
- Microsoft Visual Studio 2012
- OpenCV 2.4.9 with GPU support
- CUDA Toolkit 6.5
- Geospatial Data Abstraction Library (GDAL)

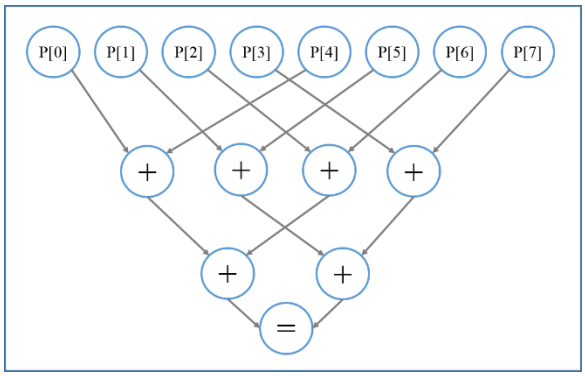
5.3. Algoritmaların Uyarlanması

Bu çalışmada kullanılan çoğu birleştirme yöntemi piksel temelli operasyonlar içerdiğinden grafik işlem birimi üzerinde çalıştırılan yazılımlar merkezi işlem birimi üzerinde çalıştırılan yazılımlara göre oldukça etkileyici sonuçlar sunmuştur. GPU üzerinde çalıştırılan çekirdek kod tüm pikseller için uyarlandığından kod karmaşıklığı oluşturmamaktadır. Fakat HCS, HPF ve Unsharp yöntemleri içerisinde ardışık işlem bulundurmaktadır. Örneğin HCS yönteminde algoritma içerisinde pankromatik görüntünün ortalaması ve standart sapma değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerlerin hesaplanma yöntemlerinin doğası gereği ardışık işlemler içermektedir. GPU ile gerçekleştirmek CPU'ya göre daha düşük frekans ile gerçekleşeceğinden düşük bir performans sunacaktı. Örneğin bir matrisin ortalamasını hesaplamak için tüm değerlerini toplayıp eleman sayısına bölmek gerekmektedir. Toplama işlemi sıralı bir işlem olduğundan matrisin eleman sayısı kadar adım gerektirmektedir. Şekil 5.2 ile ardışık toplama işlemi görselleştirilmiştir.



Şekil 5.2. Ardışık toplam işleminin görselleştirilmesi

Bu işlemleri paralel biçimde çalıştırılabilmek için log-step toplama adı verilen bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem Şekil 5.3. ile görselleştirilmiştir. İşlem adımı sayısı bu sayede dramatik bir biçimde düşmüş ve verimli sonuçlar elde edilebilmiştir.



Şekil 5.3. Log-Step toplama işleminin görselleştirilmesi

Filtreleme yöntemleri de benzer şekilde ardışık işlem gerektirdiğinden bu yöntemlerde de farklı çözümlerin kullanıma gidilmiştir. Filtreleme işlemleri bir pikselin komşu piksellerini de hesaba katılarak gerçekleştirildiğinden aygıt hafızasında farklı bloklardaki komşu piksellere erişim gerektirdiğinden basit yöntemler ile gerçekleşmesi mümkün olmamaktadır. Bu yöntem ile gerçekleştirilirse farklı bloklardaki işlemlerin beklenmesi gerekeceğinden CPU'ya göre çok daha yavaş sonuçlar verecektir. Karmaşıklığın en az seviyeye indirilmesi ve en iyi sonuçların elde edilebilmesi için OpenCV yazılım kütüphanesi GPU üzerinde çalıştırılarak filtreleme gerçekleştirilmiştir.

Piksel bazlı operasyonlarda tek bir CUDA çekirdek kodu tüm pikseller için çalıştırıldığından hız anlamında çok yüksek performans sunmaktadır. Örneğin Brovey yönteminin renk uzayı dönüşüm çekirdek kodu aşağıda verilmiştir.

```
__global__ void pansharp_Brovey(float* d_p, float* d_r, float* d_g, float* d_b, int
num_pixels_y, int num_pixels_x){

	int  ny = num_pixels_y;
	int  nx = num_pixels_x;
	int2 image_index_2d = make_int2( ( blockIdx.x * blockDim.x ) + threadIdx.x,
( blockIdx.y * blockDim.y ) + threadIdx.y );
	int  image_index_1d = ( nx * image_index_2d.y ) + image_index_2d.x;

	if ( image_index_2d.x < nx && image_index_2d.y < ny )
	{
		float r = d_r[ image_index_1d ];
		float g = d_g[ image_index_1d ];
		float b = d_b[ image_index_1d ];

		float p = d_p[ image_index_1d ];

		d_r[ image_index_1d ] = r*(3*p/(r+g+b));
		d_g[ image_index_1d ] = g*(3*p/(r+g+b));
		d_b[ image_index_1d ] = b*(3*p/(r+g+b));
	}
}
```

Verilen kod bloğunda pankromatik ve MS görüntünün bantlarının işaretçileri çekirdek koda verilmektedir. Çekirdek kodu kendi indeksine karşılık gelen piksel için bu kodu çalıştırarak tek bir piksel için dönüşümü gerçekleştirmektedir. Daha sonra sonuçlar tekrar kırmızı yeşil ve mavi bantlarına yazılmaktadır.

Pan keskinleştirme işlemlerinin karşılaştırılmasında hem spektral verinin korunumu hem de mekânsal bilginin korunumu dikkate alınmıştır.

5.4. Test Sonuçları

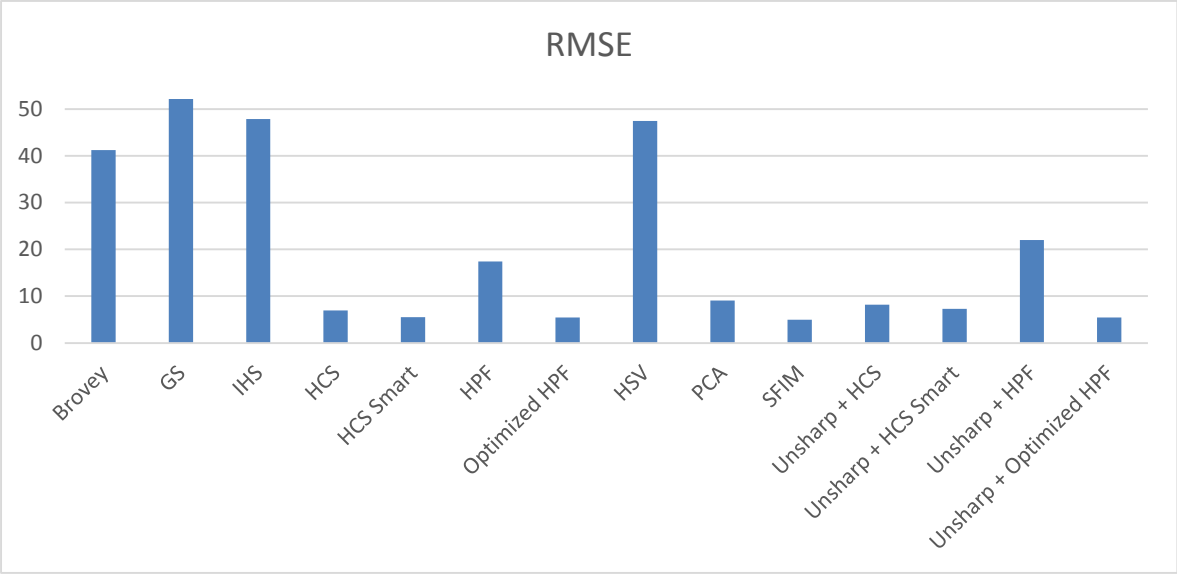
Farklı yöntemler için metrik sonuçları Çizelge 5.2. ile verilmiştir. Mekânsal hariç tüm yöntemler pan keskinleştirilmiş görüntünün RGB(KYM) görüntü ile benzerliğinin oranını ölçmektedir. Örneğin SID gibi metrikler her yöntem için başarılı sonuçlar vermektedir. HCS-Smart ile Optimized HPF yöntemleri en başarılı sonuçları üretmektedir. Unsharp yöntemi metrik sonuçları çok etkilememek ile birlikte bu yöntemlerin görsel başarımını iyileştirmektedir.

Çizelge 5.2. Tüm pan keskinleştirme yöntemlerinin ölçüt sonuçları

	RMSE	SAM	CC	RASE	QAVE	SID	ERGAS	Mekânsal
Brovey	41,21	0,28	0,97	35,58	0,81	0,00004	13,62	0,96
GS	52,24	0,92	0,95	15,13	0,99	0,00040	4,58	0,94
IHS	47,87	0,72	0,98	13,43	1,00	0,00113	4,88	0,97
HCS	6,98	0,21	0,98	5,56	0,97	0,00003	1,39	0,94
HCS Smart	5,50	0,17	0,99	4,82	0,98	0,00002	1,21	0,90
HPF	17,40	0,49	0,88	14,93	0,96	0,00032	3,80	0,92
Opt. HPF	5,44	0,38	0,99	4,70	0,96	0,00011	1,21	0,94
HSV	47,46	0,28	0,96	40,89	0,75	0,00003	17,05	0,96
PCA	9,06	0,60	0,97	7,14	0,94	0,00023	1,81	0,92
SFIM	4,98	0,23	0,99	4,26	0,98	0,00003	1,07	0,28
Unsharp + HCS	8,19	0,21	0,97	6,67	0,97	0,00003	1,66	0,95
Unsharp + HCS-Smart	7,32	0,18	0,98	6,40	0,98	0,00003	1,61	0,92
Unsharp + HPF	22,01	0,62	0,82	18,30	0,95	0,00079	4,71	0,89
Unsharp + Opt. HPF	5,45	0,38	0,99	4,70	0,96	0,00011	1,21	0,94

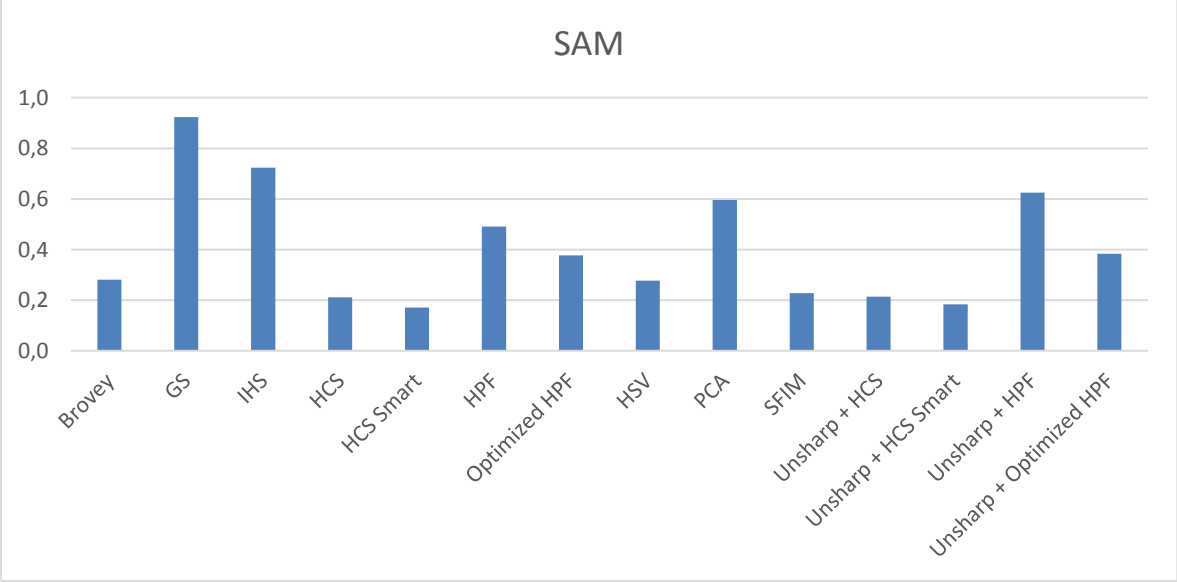
5.4.1. Sayısal ölçümler

Yapılan testler sonucunda farklı ölçüt yöntemleri daha önce ifade edilen tüm pan keskinleştirme yöntemlerine uygulanmış ve sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlar grafikler ile analiz edilmiştir.



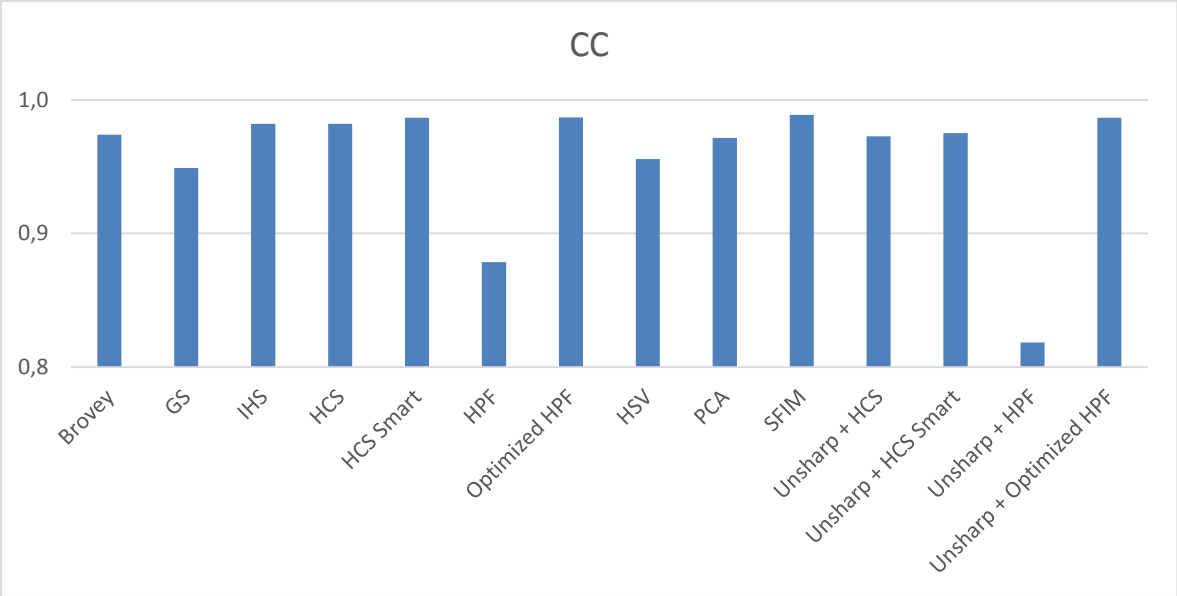
Şekil 5.4. RMSE ölçütü sonuçları

Şekil 5.4. RMSE dikkate alındığında Opt. HPF, HCS, PCA ve SFIM yöntemleri düşük değerlere sahiptirler. Unsharp yöntemi RMSE değerlerini bir miktar arttırmaktadır. Görüntü kalitesi RMSE değerinin 0 (sıfır) değerine yakınlığı ile doğru orantılıdır.



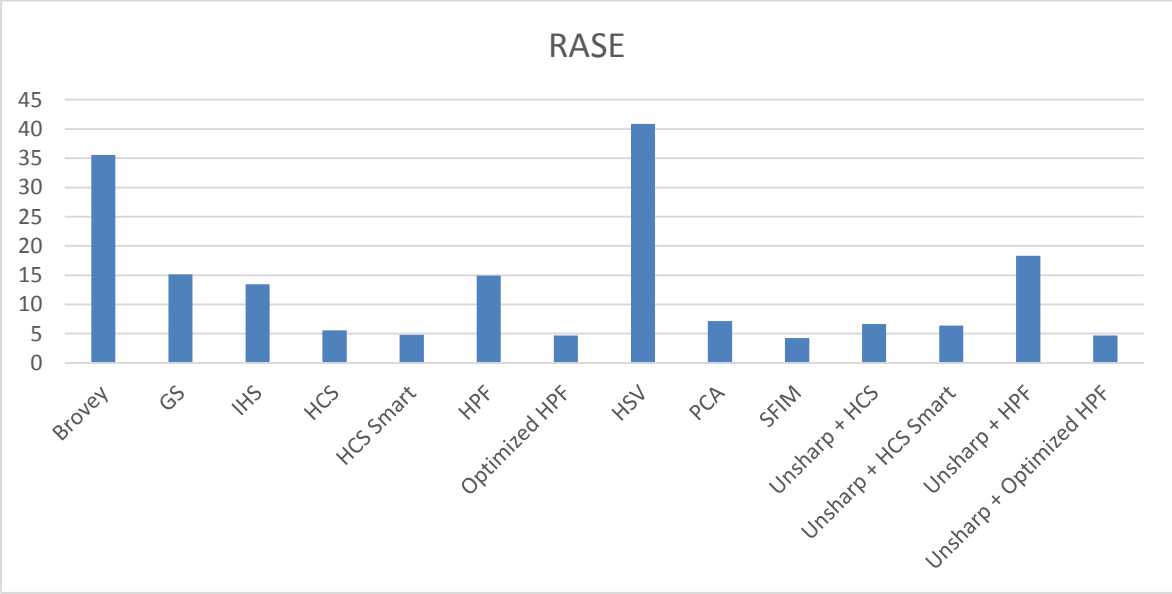
Şekil 5.5. SAM ölçütü sonuçları

Şekil 5.5. SAM incelendiğinde HCS, Brovey ve SFIM gibi yöntemlerin daha başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Spektral bilginin korunumu değerlendiren bu ölçüt 0 (sıfır) değerine yakınlık ile doğru orantılıdır.



Şekil 5.6. CC ölçütü sonuçları

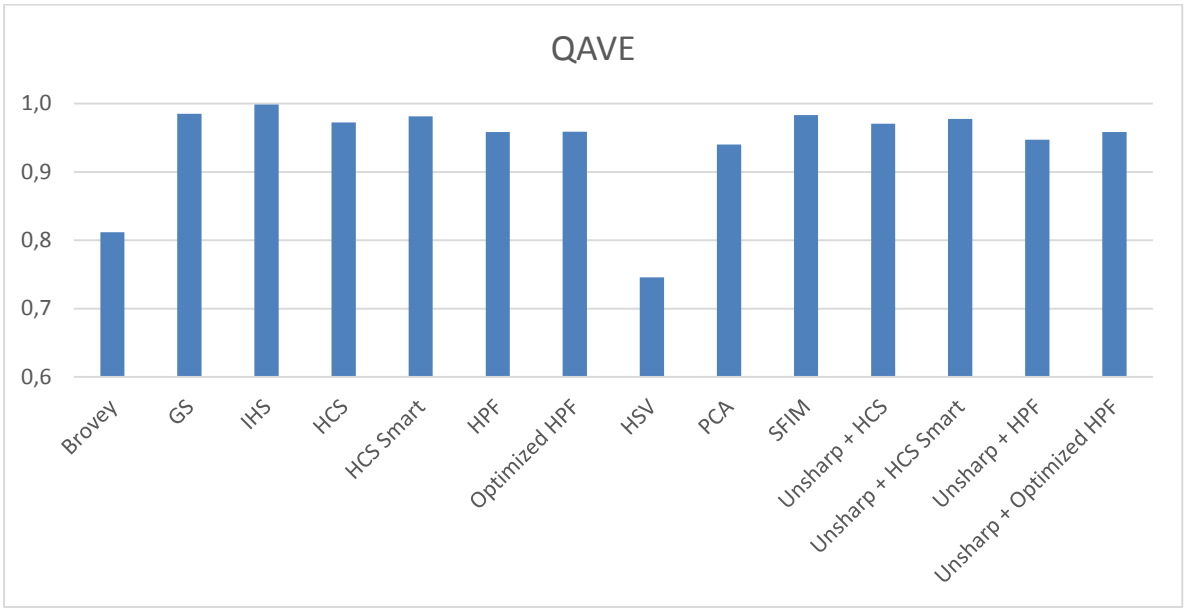
Şekil 5.6. CC 1 değerine yakınlığı yöntemin kalitesini belirlemektedir. Alınan sonuçlara göre Opt. HPF, HCS, IHS ve SFIM yöntemleri diğer yöntemlere kıyasla daha verimli sonuçlar üretmiştir.



Şekil 5.7. RASE ölçütü sonuçları

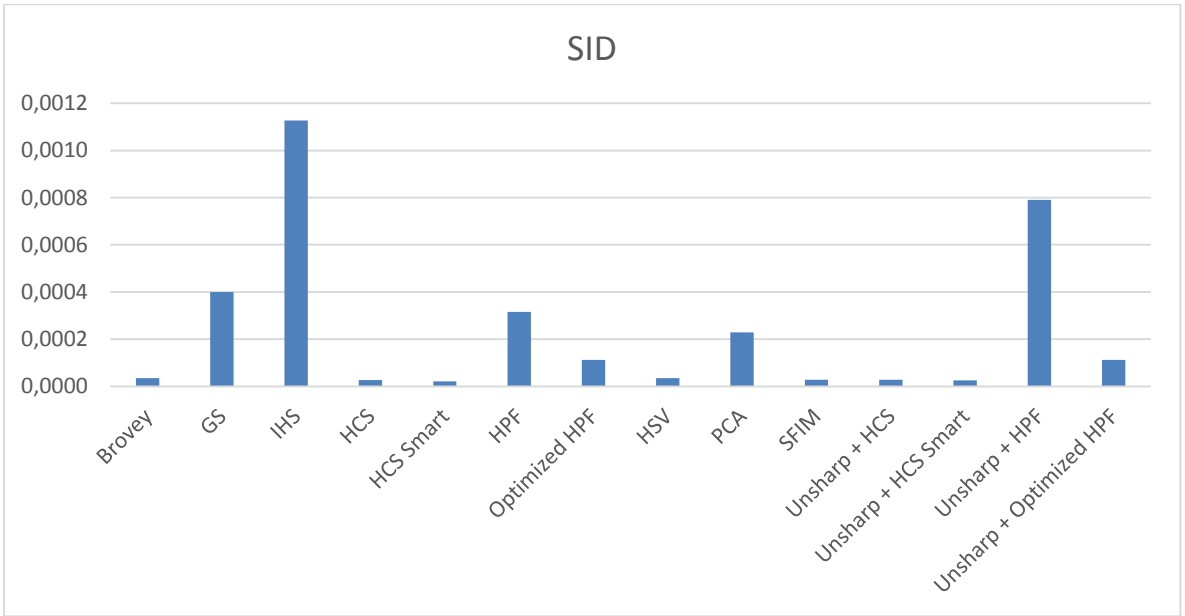
Şekil 5.7. RASE çok bantlı görüntü ile birleştirilmiş görüntü arasındaki hatayı gösterir. Spektral ve mekânsal kalitenin değerlendirildiği bu ölçütte 0 (sıfır) değerine yakınlık

yöntemin kalitesini belirlemektedir. Sonuçlar incelendiğinde HCS, Opt. HPF ve SFIM en iyi sonuçları vermiştir.



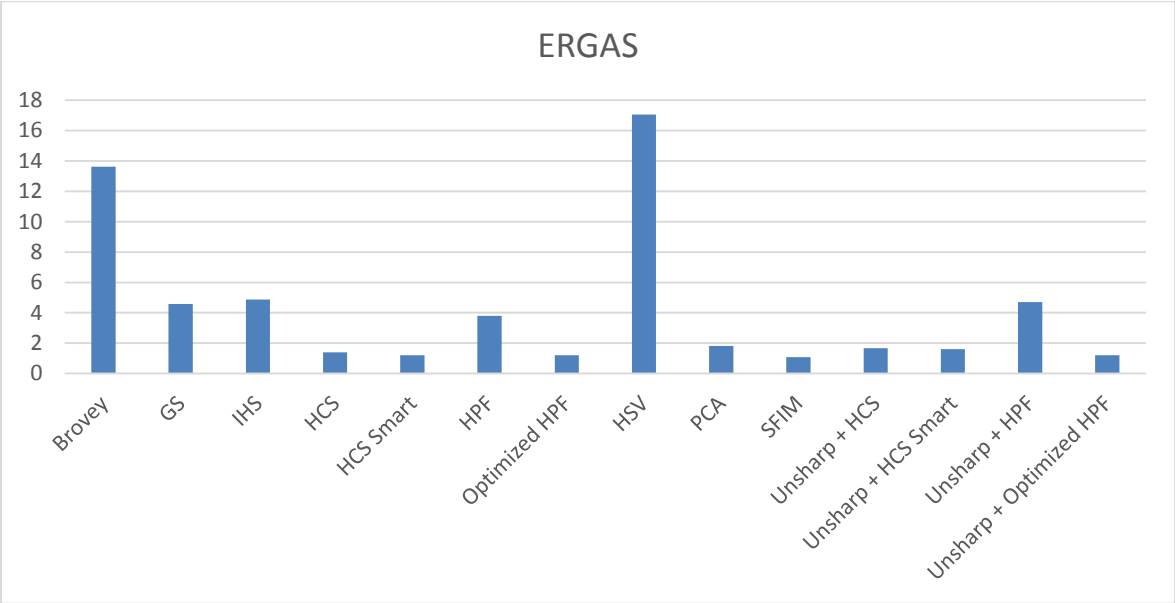
Şekil 5.8. QAVE ölçütü sonuçları

Şekil 5.8. QAVE birleştirilmiş görüntüdeki spektral bozulmayı farklı faktörlere göre incelemektedir. Bu faktörler ilinti kaybı, parlama bozulması ve kontrast bozulmasıdır. Bu ölçüt sonucunda değerin 1 değerine yakın olması görüntü kalitesini belirlemektedir. Sonuçlara göre IHS, HCS ve SFIM en iyi sonuçları vermiştir.



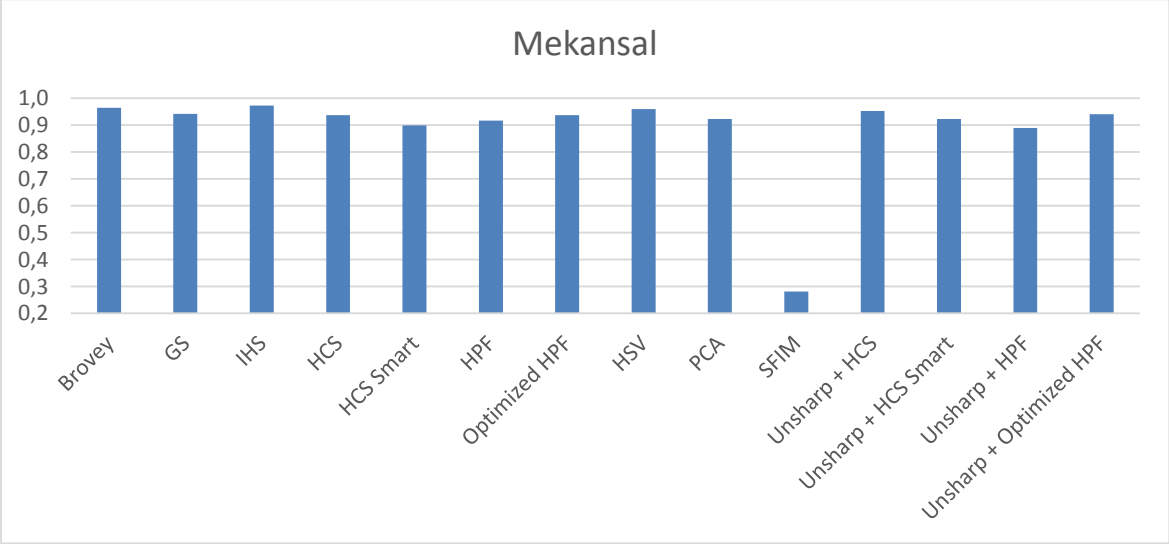
Şekil 5.9. SID ölçütü sonuçları

Şekil 5.9. SID incelendiğinde Çok bantlı görüntü ve birleştirilmiş görüntüdeki iki spektral vektörün farkını ya da uyuşmazlığı görülmektedir. Sonuçlara göre Brovey, HCS, HSV ve SFIM en iyi sonuçları vermektedir.



Şekil 5.10. ERGAS ölçütü sonuçları

Şekil 5.10. ERGAS incelendiğinde pankromatik banttan alınan mekânsal bilginin spektral bilgiye dönüşümündeki kalite her bir yöntem için analiz edilebilir. Alınan sonuçlara göre HCS, Opt. HPF ve SFIM en iyi sonuçları vermiştir.



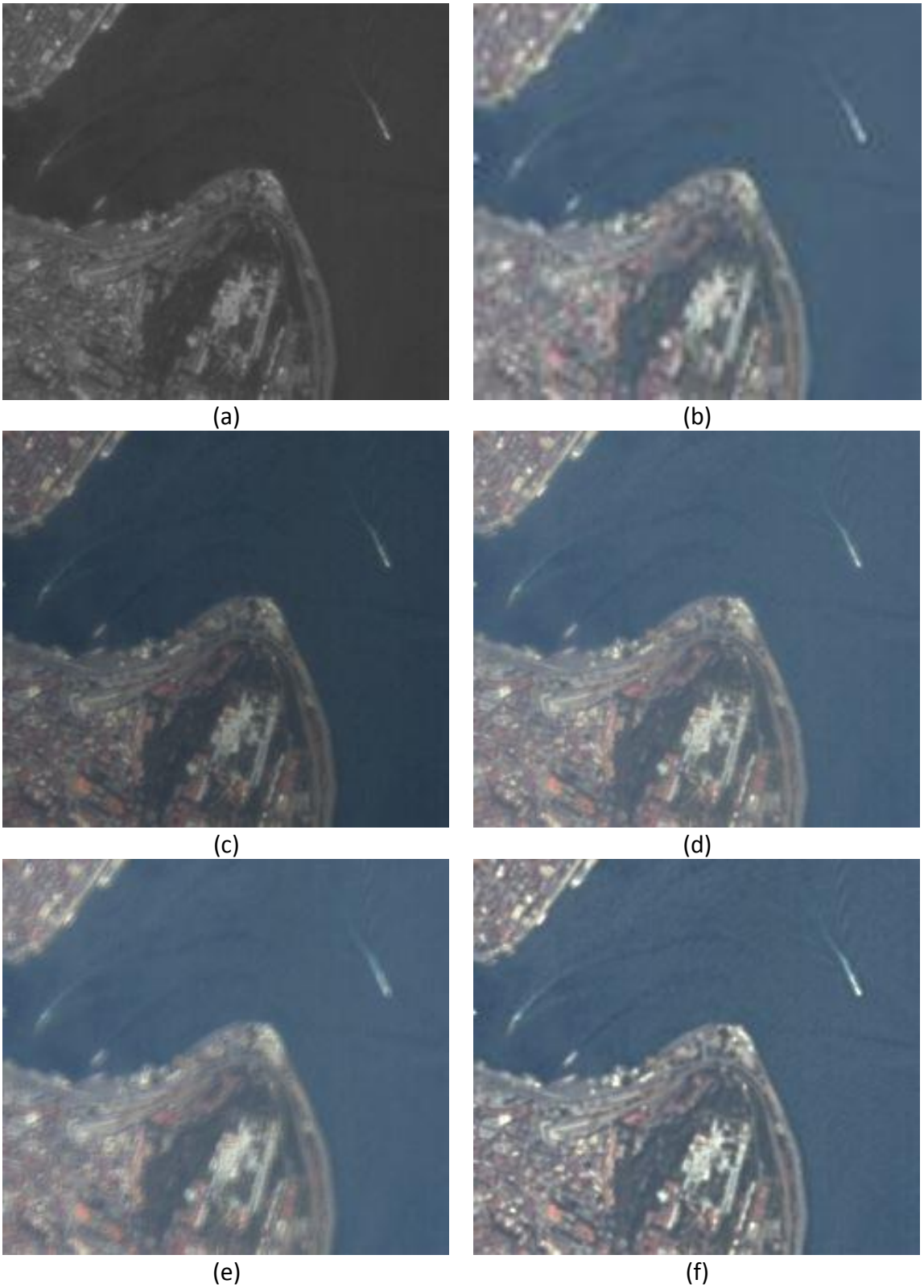
Şekil 5.11. Mekânsal ölçütü sonuçları

Şekil 5.11. Mekânsal ölçütü sonuçları gözlemlendiğinde Brovey, IHS ve HSV en iyi sonuçları verdiği görülmektedir. Bu ölçütün 1 değerine yakınlığı görüntü kalitesini göstermektedir.

Tüm yöntemler yüksek Mekansal pankeskinleştirme performansına sahiptirler. SFIM yöntemi yumuşatma etkisinin yüksek olmasından dolayı düşük keskinlik değerine sahiptir. Unsharp uygulanan yöntemlerin keskinlik değerleri yükselmiştir. Ön işleme metodu olarak değerlendirilen Unsharp yöntemi görüntünün özellikle sınırları arasındaki değişimi analiz etmede görsel açıdan olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İstihbarat veya askeri amaçlarda kullanılan görüntüler için oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir. Renk spektrumunun önemli olduğu tarım veya yer altı kaynakları araştırmaları için ise uydu görüntüsünün ham bilgisinin değiştirildiği düşünüldüğünde kullanımına gerek duyulmayabilir.

5.4.2. Görsel testler

Pan keskinleştirme yöntemleri görsel karşılaştırma yöntemi için Şekil 5.12. ile sunulmuştur. Tüm yöntemlerde MS görüntüye göre süreklilik artırımı sağlanmıştır. Alınan sonuçlar neticesinde Opt. HPF ve HCS yöntemlerinin en makul sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. Unsharp yönteminin pankromatik görüntüye uygulanması ile detay artırımı sağlanmış olup HCS ve HPF yöntemlerinin mekânsal bilgi korunumunu arttırdığı gözlemlenmiştir. SFIM yönteminde ise mekânsal bilginin korunamadığı gözlemlenmiş olup HSV ve Brovey yöntemlerinde de spektral bilginin bozunuma uğradığı tespit edilmiştir. Sayısal ölçütlerin yanında en uygun yöntemi belirlemek için gözlem sonuçlarının da değerlendirilmesi gerekmektedir.

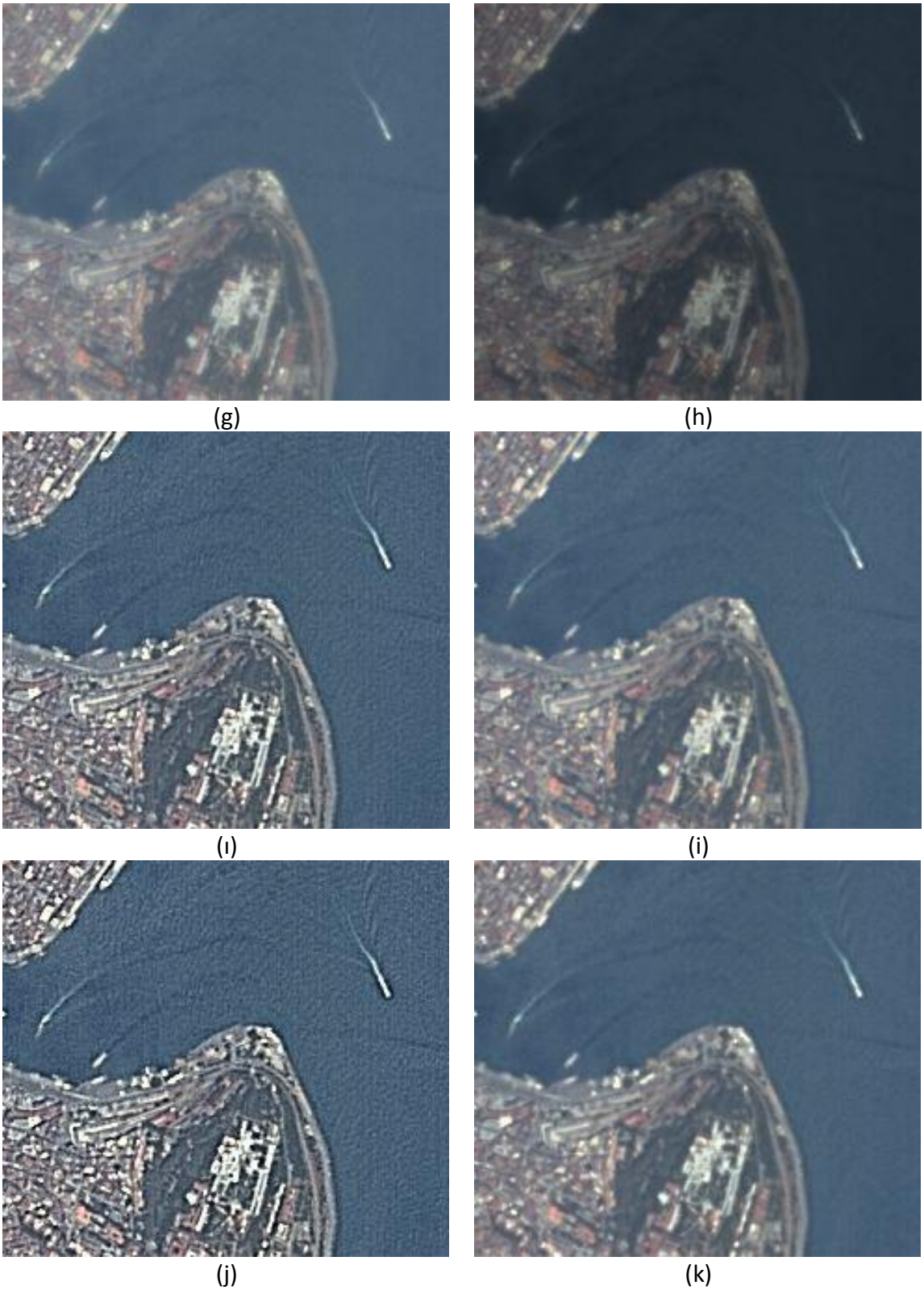


(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

Şekil 5.12. Pankromatik görüntü (a) MS görüntü (b) Brovey (c) HCS (d) SFIM (e) HCS Smart (f) PCA (g) HSV (h) HPF (ı) Opt. HPF (i) Unsharp HPF (j) Unsharp HCS (k)



(g) (h)

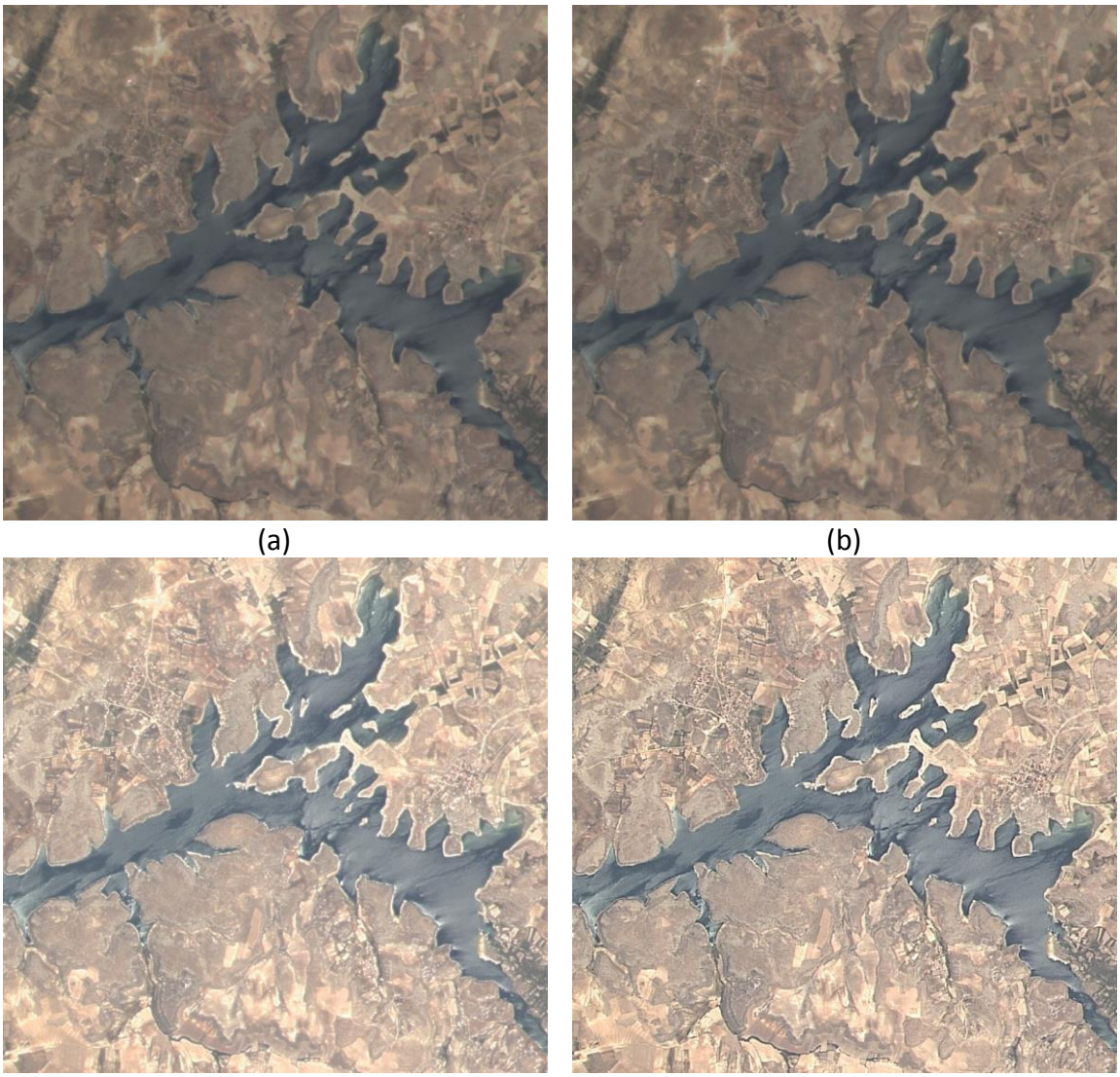
(ı) (i)

(j) (k)

Şekil 5.12. (devam) Pankromatik görüntü (a) MS görüntü (b) Brovey (c) HCS (d) SFIM (e) HCS Smart (f) PCA (g) HSV (h) HPF (ı) Opt. HPF (i) Unsharp HPF (j) Unsharp HCS (k)

5.4.3. Geliştirme ortamları arası farklar

CPU ve GPU geliştirme ortamları arasındaki metrik farkı bu ortamlarda kullanılan kayan nokta tanımlamaları ve derleyicilerin işlemleri yapma sırasından kaynaklanmakta olup yakın sonuçlar elde edilmiştir. GPU ortamında kayan nokta formatı kullanılmakta iken CPU ortamında çift duyarlılıklı kayan nokta veri biçimi kullanılmıştır. Örneğin filtreleme gibi operasyonların kullanıldığı çok sayıda işlemin yapıldığı yöntemlerde sonuçlar arasındaki fark artabilmektedir. Çizelge 5.3. ve Çizelge 5.4. ile iki farklı ortam arasındaki aynı görüntü birleştirme yöntemlerinin sayısal ölçütlere göre sonuçları verilmiştir.



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 5.13. GPU ile Brovey (a) CPU ile Brovey (b) GPU ile HPF (c) CPU ile HPF (d)

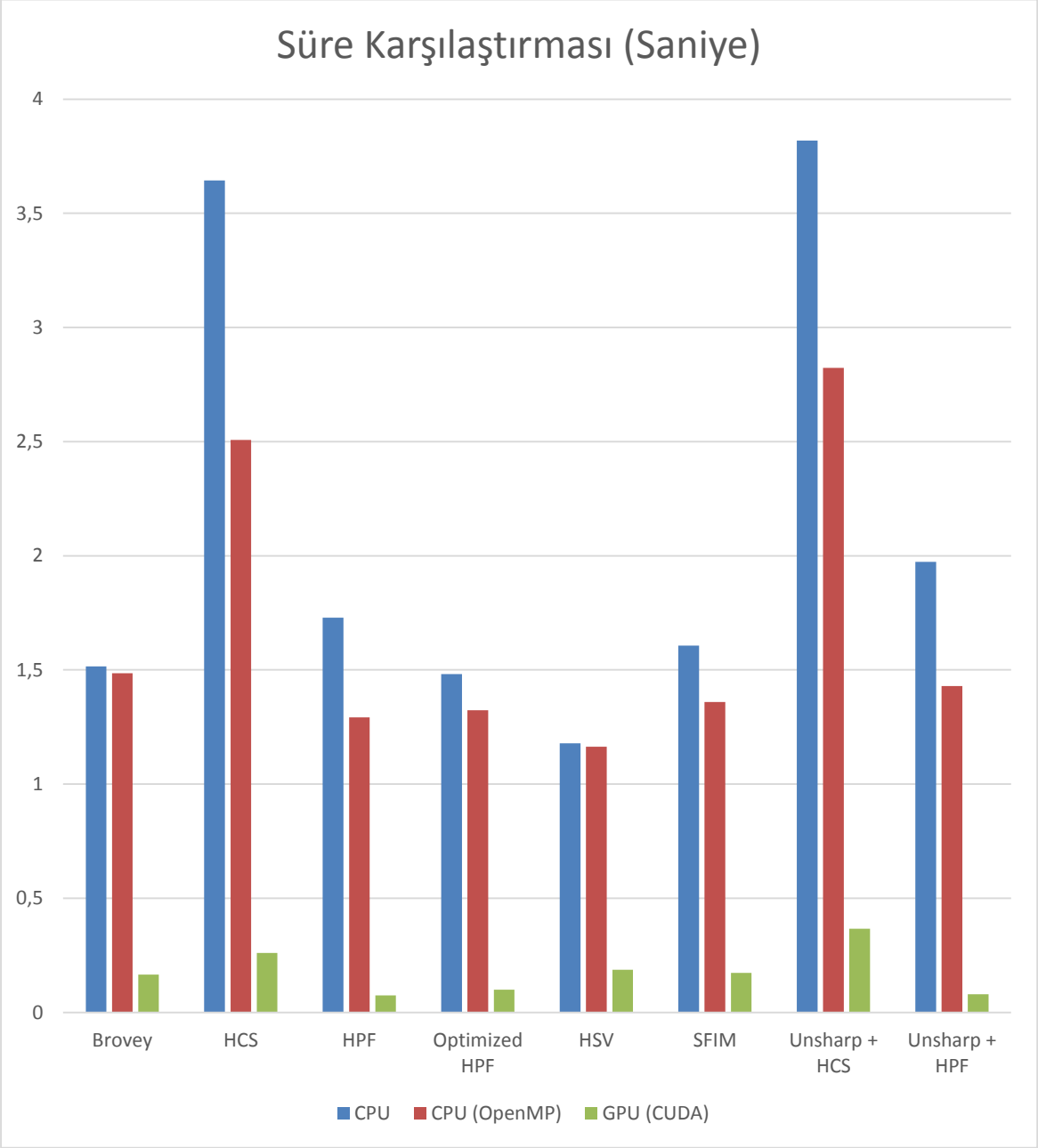
Çizelge 5.3. Pan keskinleştirme yöntemlerinin CPU üzerindeki metrik sonuçları

	Brovey	HCS	HPF	Opt. HPF	HSV	SFIM	Unsharp + HCS	Unsharp + HPF	Unsharp + Opt. HPF
RMSE	37,86	2,47	12,79	3,36	41,32	3,54	3,78	18,34	3,35
SAM	0,32	0,25	0,37	0,44	0,31	0,25	0,26	0,51	0,45
CC	0,99	0,99	0,85	0,99	0,98	0,98	0,98	0,76	0,99
RASE	37,97	2,48	12,83	3,36	41,43	3,55	3,79	18,39	3,36
QAVE	0,76	0,97	0,96	0,93	0,72	0,97	0,97	0,96	0,93
SID	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ERGAS	15,18	0,62	3,20	0,85	17,57	0,89	0,94	4,58	0,85
Mekansal	0,97	0,97	0,97	0,95	0,96	0,28	0,98	0,95	0,95

Çizelge 5.4. Pan keskinleştirme yöntemlerinin GPU üzerindeki metrik sonuçları

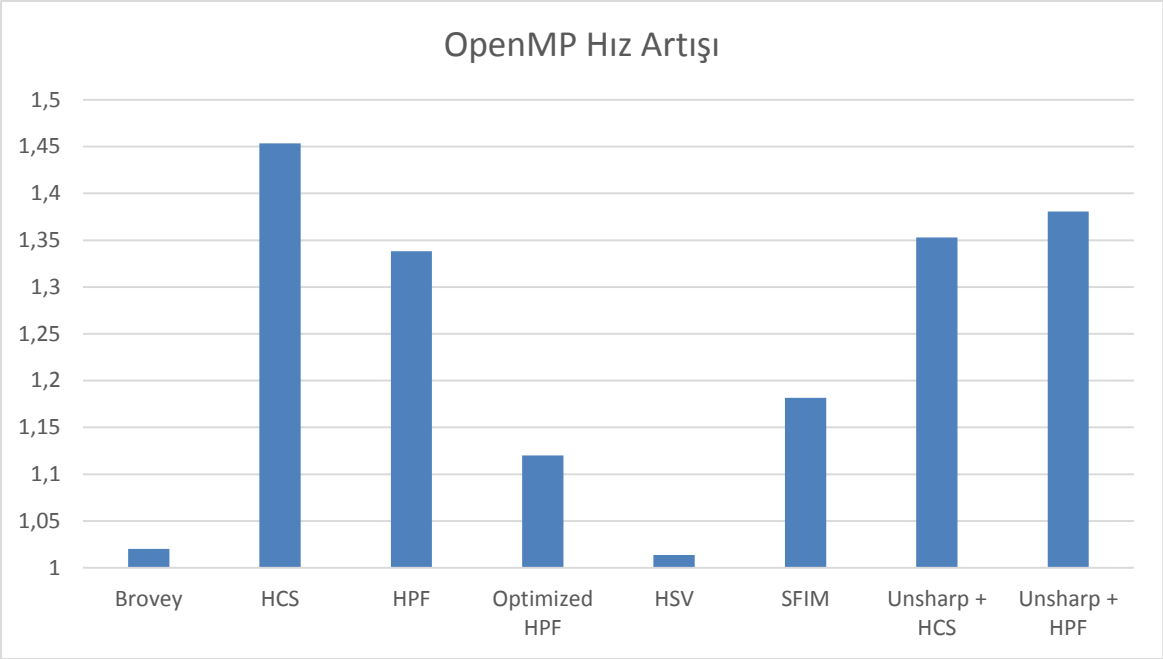
	Brovey	HCS	HPF	Opt. HPF	HSV	SFIM	Unsharp + HCS	Unsharp + HPF	Unsharp + Opt. HPF
RMSE	37,86	43,44	11,49	6,46	41,38	3,35	45,97	16,40	6,43
SAM	0,29	0,30	0,25	0,49	0,28	0,21	0,31	0,27	0,44
CC	0,99	0,99	0,93	0,97	0,98	0,99	0,97	0,88	0,97
RASE	37,96	43,56	11,52	6,48	41,50	3,36	46,09	16,45	6,44
QAVE	0,78	0,72	0,97	0,89	0,74	0,98	0,68	0,97	0,90
SID	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ERGAS	15,18	19,11	2,76	1,60	17,62	0,84	21,17	3,88	1,60
Mekansal	0,96	0,96	0,79	0,83	0,95	0,17	0,87	0,68	0,76

5.4.4. Hız Karşılaştırmaları



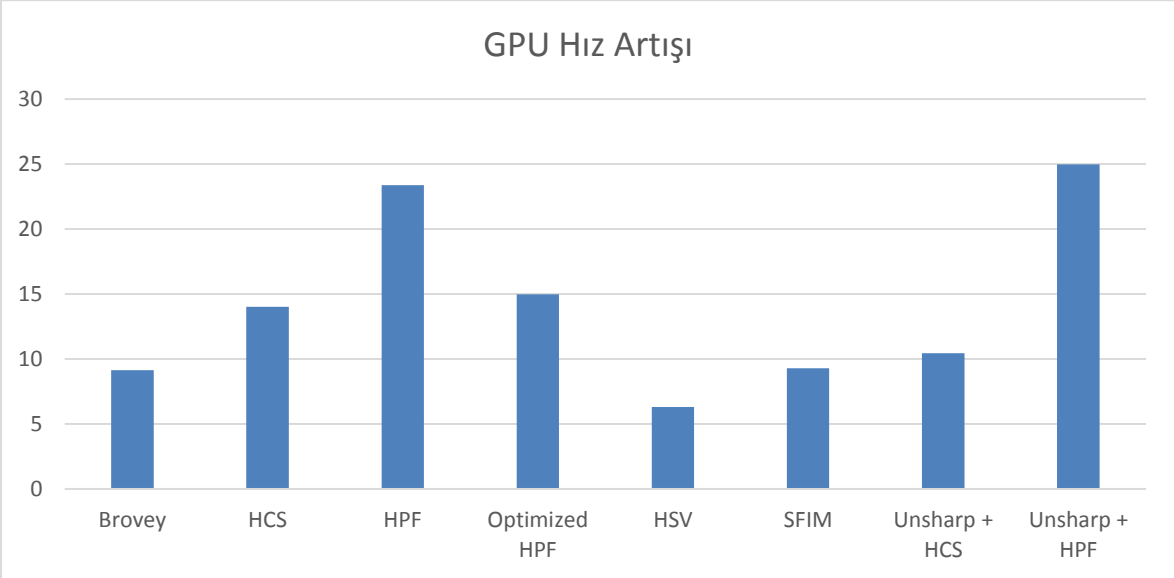
Şekil 5.14. CPU, CPU(OpenMP) ve GPU ortamlarında yöntemlerin süreleri

Çoklu işlek hızlandırma performansları Şekil 5.14. ve Şekil 5.15. ile gösterilmektedir. OpenMP çoklu işlek ile veri işlemeye izin vermek ile birlikte kullanılan sistemde mutlaka bir hızlanma beklenmektedir. Paralel işlemlerin daha yoğun olduğu yöntemlerde 2 kata kadar hızlanma elde edilmiştir.



Şekil 5.15. OpenMP ile CPU üzerindeki hız artışı

GPGPU CUDA programlamada ise tek işlek sonuçlara göre en az 20 kat hızlanma mümkün olmaktadır. İşlem yoğun bir yöntem olan HPF yöntemi Şekil 5.16. ile görüldüğü üzere 25 kat hızlanmıştır. Farklı bölgelerden veri kullanan filtreleme işlemlerine sahip yöntemler ise hızlanma daha az oranda olmaktadır. Unsharp işlemi de keskinleştirme sırasında filtre kullandığı için hız artış oranı azalmaktadır.



Şekil 5.16. GPU ile CPU arasındaki hız artışı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pan keskinleştirme, multispektral bantlara sahip olan yer gözlem uydu görüntülerinin işlenmesi için vazgeçilmez bir işlemdir. Bu işlemin çözünürlük ve spektral bilgiyi koruyarak pan görüntü ile multi-spektral görüntüyü birleştirmesi için çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada Türkiye'nin ilk milli yer gözlem uydusu olan RASAT uydusunun görüntüleri farklı pan keskinleştirme yöntemleri uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. 10 farklı bölgeden farklı coğrafi özelliklere sahip görüntüler 8 farklı sayısal ölçüt ve görsel karşılaştırma ile incelenmiştir. Metrik sonuçları tek başına yeterli olmayıp sonuçların ayrıca göz ile incelenmesi metrik sonuçların doğrulanması için kullanılmıştır. Bu sayede sayısal ölçütlere anlam kazandırılmıştır.

Uydu görüntüleri büyük alanları kapsadıkları için (örneğin RASAT uydusu için bir kare görüntü 900 km² alanı kapsamakta olup 16.7 milyon piksel barındırmaktadır) çözünürlükleri arttıkça veri boyutları da artmaktadır. Bu verilerin yüksek başarım ile işlenmesi önem kazanmıştır. Farklı pan keskinleştirme yöntemleri C++ (tek işlek, çok işlek) ve CUDA ile gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmış olup grafik işlem birimi üzerinden alınan sonuçlar oldukça etkileyici sonuçlar sunmuştur.

Göktürk-2 uydu görüntüleri için geliştirilen Unsharp temelli pan keskinleştirme, RASAT uydusunun görüntüleri için C++ ve CUDA ile gerçekleştirilmiştir. C++ ve CUDA uygulamalarının metrik sonuçları karşılaştırılarak yakın sonuçların alındığı, aynı yöntemin farklı gerçekleştirimlerinin aynı sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. İki farklı ortam sonuçlarındaki ufak farklılıkların kayan nokta gerçekleştirim farklılıklarından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda HCS Smart ile Optimized HPF yöntemlerinin en başarılı sonuçları ürettiği bulunmuştur ve Unsharp yöntemi ile sonuçların metrik ve görsel olarak iyileştiği görülmüştür. Optimized HPF yöntemi işlem süresi olarak HCS yönteminden daha hızlı olduğu için bu yöntem özellikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri için tercih edilebilir. Unsharp yöntemi süzgeçleme işlemi gerektirdiğinden dolayı işlem zamanı daha uzun olmaktadır.

Çalışmada pan keskinleştirme işlemlerinin GPGPU programlama ile CUDA dilinde geliştirilmesinin 20-25 kat performans artışı sağladığı görülmüştür. Yapılan çalışma pan keskinleştirme algoritmalarının GPU ile işlenmesindeki literatürde yer alan ilk örneğidir. Büyük boyutlara sahip uydu görüntülerinin GPU'lar ile yüksek hızla işlendiğinde gerçekleşecek performans kazanımlarının, benzer uydu görüntü işlemlerine uygulanması sayesinde veri işleme kapasitesi artacaktır. Piksel tabanlı görüntü işleme algoritmaları için paralel programlama tekniğinin sunduğu performans artışı göz ardı edilemeyecek kadar yüksektir. Ticari uygulamalarda bu tekniğin yakın zamanda kullanılması düşünülmektedir.

CUDA pan keskinleştirme çekirdek fonksiyonları geliştirme açısından daha çok emek gerektirmekte olup performans kazanımları yüksek oranda olmaktadır. CUDA dili ile geliştirilen görüntü işleme kütüphaneleri (Örneğin OpenCV gibi) yaygınlaştıkça yüksek başarımlı görüntü işleme uygulamalarının sayıları artacaktır.

Uydu görüntülerinin çözünürlükleri arttıkça veri boyutu da artmaktadır. Örneğin Göktürk-2 görüntüleri 11-bit (2 Byte) ve pankromatik bantta 2.5 metre mekânsal çözünürlükte olduğu için sürücü okuma ve yazma operasyonları daha fazla zaman alacaktır. RASAT uydusu ile karşılaştırıldığında Göktürk-2 uydusunun bir kare görüntüsü karşılaştırıldığında 32 kat daha fazla veri içerdiğinden görüntü işlemedeki zaman kazanımı oldukça ileri seviyede olacaktır. Yeni nesil metre altı çözünürlüklü uyduların görüntüleri ise RASAT uydusuna göre 1000 kata kadar daha fazla veri içermektedir. Ticari uygulamalar bu ölçekteki görüntüleri işlemek için çoklu bilgisayar sistemlerini sunmaktadır. GPGPU programlama ile tek bir bilgisayarda çoklu bilgisayar performansı sağlanabilmektedir. Maliyet gibi birçok parametreye olumlu sonuçlar yansıtılacağı düşünülmektedir. Paralel veri işleme ile ilgili yöntemlerin yanı sıra veri erişimi gibi dar boğaz olacak işlem adımlarının da iyileştirilmesi konusunda teknolojik gelişmelerin gerçekleşmesi gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, Göktürk-2 gibi yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin pan keskinleştirilmesi araştırılmalıdır. GPU'da kayan nokta performansının pan keskinleştirme yöntemlerine etkisi detaylı bir şekilde araştırılmalıdır. Pan keskinleştirme yöntemleri genel olarak her piksel için bağımsız çalışmakla birlikte, birden fazla komşu pikselin işlenmesinin gerektiği süzgeçleme işlemlerinin performanslarının iyileştirilmesi üzerinde çalışılması gereken bir konudur. Grafik işlem birimleri üzerinde bulunan paylaşımlı

hafıza birimlerinin süzgeçleme işlemleri için kullanılması ve karmaşık yöntemlerin başarımı irdelenmelidir.

Pan keskinleştirme füzyon algoritmaları pan görüntülerinin çözünürlüğü ile multispektral görüntülerin renk bilgisini en iyi biçimde birleştirmeyi amaçlamak ile birlikte bu yöntemlerin mümkün olan en yüksek başarımda gerçekleştirilmesi de göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Akoğuz A. (2013). Uzaktan Algılamada Görüntü Birleştirme Alogritmalarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Istanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

2. Internet: Wikipedia, Earth Observation Satellite, Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Earth_observation_satellite adresinden 16 Aralık 2014'de alınmıştır.

3. Kahraman Ö, Özen H., Demircioğlu E., Sakarya U., Küpcü R., Avenoğlu B., İmre E. ve Bank E. (2012). Uzaktan algılamada RASAT: Türkiye'de üretilen ilk yer gözlem uydusu, *IV. Uzaktan Algıllama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012),* Zonguldak.

4. Asano S., Maruyama T. Ve Yamaguchi Y. (2009). Performance comparison of FPGA, GPU and CPU in image processing, *Field Programmable Logic and Applications, IEEE International Conference. (FPL 2009)*, 126-131.

5. Internet: Wikipedia, Central Processing Unit, Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Central_processing_unit adresinden 16 Aralık 2014'de alınmıştır.

6. Matuska, S., Hudec, R., ve Benco, M. (2012). The comparison of CPU time consumption for image processing algorithm in Matlab and OpenCV. *ELEKTRO, 2012 IEEE.* 75-78.

7. Christophe, E., Michel, J., ve Inglada, J. (2011). Remote sensing processing: From multicore to GPU. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,* 643-652.

8. Internet, Nvidia Corporation, CUDA Toolkit Documentation, Web: http://docs.nvidia.com/cuda adresinden 16 Aralık 2014'de alınmıştır.

9. Owens, J. D., Houston, M., Luebke, D., Green, S., Stone, J. E., ve Phillips, J. C. (2008). GPU computing. *Proceedings of the IEEE, 96(5)*, 879-899.

10. Du, P., Weber, R., Luszczek, P., Tomov, S., Peterson, G., ve Dongarra, J. (2012). From CUDA to OpenCL: Towards a performance-portable solution for multi-platform GPU programming. *Parallel Computing*, 38(8), 391-407.

11. Internet: Wikipedia, OpenCL, Web: http://en.wikipedia.org/wiki/OpenCL adresinden 16 Aralık 2014'de alınmıştır.

12. Castaño-Díez, D., Moser, D., Schoenegger, A., Pruggnaller, S., ve Frangakis, A. S. (2008). Performance evaluation of image processing algorithms on the GPU. *Journal of structural biology*, 164(1), 153-160.

13. Karimi, K., Dickson, N. G., & Hamze, F. (2010). A performance comparison of CUDA and OpenCL. *Computing Research Repository*, 1005.2581.

14. Sümengen S., Şenaras Ç., ve Erdem A. (2012). Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri için Pankromatik Keskinleştirme Yöntemi, *Savunma Teknolojileri Kongresi*, (*SAVTEK 2012*), Ankara.

15. Lehmann, T. M., Gonner, C., ve Spitzer, K. (1999). Survey: Interpolation methods in medical image processing. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 18(11), 1049-1075.

16. Lee, Y. J., ve Yoon, J. (2010). Nonlinear image upsampling method based on radial basis function interpolation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19(10), 2682-2692.

17. Blu, T., Thévenaz, P., ve Unser, M. (2004). Linear interpolation revitalized. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(5), 710-719.

18. Keys, R. (1981). Cubic convolution interpolation for digital image processing. Acoustics, *IEEE Transactions on Speech and Signal Processing*, 29(6), 1153-1160.

19. Gillespie, A. R., Kahle, A. B., ve Walker, R. E. (1987). Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques. *Remote Sensing of Environmen*t, 22(3), 343-365

20. Tu, T. M., Huang, P. S., Hung, C. L., ve Chang, C. P. (2004). A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 1(4), 309-312.

21. Liu, J. G. (2000). Smoothing filter-based intensity modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing*, 21(18), 3461-3472.

22. Smith, A. R. (1978). Color gamut transform pairs. *In ACM Siggraph Computer Graphics*, 12(3), 12-19.

23. Pálsson, F. (2013). Pansharpening and Classification of Pansharpened Images, Yüksek Lisans Tezi, Univerity of Iceland Electrical and Computer Engingeering, Háskóli Íslands.

24. Chavez, P., Sides, S. C., ve Anderson, J. A. (1991). Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data- Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 57(3), 295-303.

25. Padwick, C., Deskevich, M., Pacifici, F., ve Smallwood, S. (2010). WorldView-2 pan-sharpening. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS 2010),* San Diego, CA.

26. Klonus, S., ve Ehlers, M. (2009). Performance of evaluation methods in image fusion, *IEEE International Conference on Information Fusion, (FUSION 09),* 1409-1416.

27. Maurer, T. (2013). 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, W1.

28. Teke M., San E. ve Koç E., Unsharp based Pansharpening of Göktürk-2 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, submitted for publication (IGARSS 2015)*

29. Wald, L. (2002). Data fusion: definitions and architectures: fusion of images of different spatial resolutions. *Presses des MINES*.

30. Levinson, N. (1947). The Wiener RMS (root mean square) error criterion in filter design and prediction.

31. Yuhas, R. H., Goetz, A. F., ve Boardman, J. W. (1992). Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm.

32. Ranchin, T., ve Wald, L. (2000). Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* 66(1), 49-61.

33. Wald, L. (2000). Quality of high resolution synthesised images: Is there a simple criterion? *Fusion of Earth data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed images*, (SEE/URISCA) 99-103.

34. Wang, Z., ve Bovik, A. C. (2002). A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters,* 9(3), 81-84.

35. Chang, C. I. (1999). Spectral information divergence for hyperspectral image analysis. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, (IGARSS'99),* 509-511.

36. Zhou, D., Shen, X., ve Dong, W. (2012). Image zooming using directional cubic convolution interpolation. *IET image processing*, 6(6), 627-634.

37. Yang, Z., Zhu, Y., ve Pu, Y. (2008). Parallel image processing based on CUDA. IEEE *International Conference on Computer Science and Software Engineering,* (Vol. 3). 198-201.

38. Park, I. K., Singhal, N., Lee, M. H., Cho, S., ve Kim, C. W. (2011). Design and performance evaluation of image processing algorithms on GPUs. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 22(1), 91-104.

39. Medda, A., ve DeBrunner, V. (2006). Color image quality index based on the UIQI. *IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, 213-217.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı	: İbrahim Serdar, AÇIKGÖZ
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 10.10.1986, Aksaray
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (538) 6779722
Faks	:
E-Posta	: ibrahim.acikgoz@tubitak.gov.tr

Eğitim

Derece	Okul/Program	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği	2015
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/Elektrik Elektronik Müh.	2010
Lise	Özel Ahmet Ulusoy Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2011-2012	TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enst.	Araştırmacı
2012-Halen	TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü	Araştırmacı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Açıkgöz İ. S., Teke M., Kutbay U., Hardalaç F. (2015). Performance Evaluation of Pansharpening Methods on GPU for RASAT Images. *IEEE International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST2015)* (Başvuruldu)

Hobiler

Müzik, Botanik, Teknoloji, Astrofizik



GAZİ GELECEKTİR...