

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**PARALEL HESAPLAMA KULLANARAK  
YEREL FOURIER FİLTRELERİ İLE  
OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Burak KURT**

**Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı**

**Bilgi ve Haberleşme Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**PARALEL HESAPLAMA KULLANARAK  
YEREL FOURIER FİLTRELERİ İLE  
OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Burak KURT  
708151004**

**Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı**

**Bilgi ve Haberleşme Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedef KENT PINAR**

**HAZİRAN 2019**



İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 708151004 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Burak Kurt**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**PARALEL HESAPLAMA KULLANARAK YEREL FOURIER FİLTRELERİ İLE OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Sedef KENT PINAR** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Mesut KARTAL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Serdar KARGIN** .....  
Beykent Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **3 Mayıs 2019**  
**Savunma Tarihi** : **13 Haziran 2019**





*Eşime,*





## ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca katıldığım derslerde bana akademik ve sosyal alanlarda birçok bilgi, yetkinlik ve tecrübe kazandıran değerli hocalarıma ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Sedef KENT PINAR 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarında kullanmak üzere tarafıma sağlanan örnek veri ve danışmanlık desteği için İTÜ UHUZAM ailesine ve tez hazırlama süresince desteklerini esirgemeyen Ziraat Teknoloji ailesine minnetlerimi sunarım.

Lisansüstü eğitimim boyunca en büyük desteği sağlayan ve başarılarımın en büyük kaynağı olan başta sevgili eşim Sevcan Kurt 'a ve aileme teşekkür ve minnetlerin en büyüğünü sunar, şükranlarımı iletirim.

Haziran 2019

Burak Kurt  
Telekomünikasyon Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET .....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 SPOT Uyduları .....	2
1.2 Paralel Programlamada Temel Kavramlar .....	3
1.3 Tezin Amacı ve Kapsamı .....	5
<b>2. PYTHON İLE PARALEL PROGRAMLAMA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Paralel Programlamadaki Sorunlar .....	7
2.1.1 Kilitlenme.....	8
2.1.2 Açlık.....	8
2.1.3 Yarış durumu.....	8
2.2 Python Paralel Programlama Araçları .....	9
2.2.1 Python multiprocessing modülü.....	9
2.2.2 Python threading modülü .....	10
<b>3. BİRLEŞTİRME ÖNCESİ GÖRÜNTÜ İŞLEME UYGULAMALARI</b> .....	<b>11</b>
3.1 İki Boyutlu Ayrık Fourier Dönüşümü .....	11
3.2 Sayısal Süzgeçler.....	12
3.2.1 İdeal alçak ve yüksek geçiren süzgeçler .....	15
3.2.2 Butterworth alçak geçiren süzgeç .....	15
3.2.3 Gaussian alçak geçiren süzgeç .....	16
3.2.4 Hanning penceresi .....	16
3.2.5 Hamming penceresi.....	17
3.3 Görüntü Ölçeklendirme Yöntemleri.....	17
3.3.1 En yakın komşuluk ile aradeğerleme .....	18
3.3.2 Kübik eğrilik ile aradeğerleme.....	18
3.3.3 Çift doğrusal aradeğerleme .....	19
3.4 Histogram Eşleme .....	20
<b>4. PARALEL HESAPLAMALI GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME</b> .....	<b>23</b>
4.1 Temel Birleştirme Tasarımı .....	23
4.2 Görüntü Birleştirme Yöntemleri .....	24
4.2.1 Brovey dönüşümü ile birleştirme .....	24
4.2.2 IHS dönüşümü ile birleştirme .....	26
4.2.3 CIE L*a*b* dönüşümü ile birleştirme .....	29
4.2.4 HFM ile birleştirme.....	32
4.2.5 DFT ile görüntü birleştirme .....	35

4.2.6 DFT ve IHS dönüşümlü karma yöntem ile birleştirme .....	37
4.2.7 DFT ve L*a*b* dönüşümlü karma yöntem ile birleştirme .....	39
<b>5. BAŞARIM DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>43</b>
5.1 SAM .....	44
5.2 RMSE .....	44
5.3 RASE.....	45
5.4 ERGAS .....	46
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>47</b>
6.1 Yerel Fourier Filtre Analizleri.....	48
6.2 Görüntü Birleştirme Yöntemi Analizleri.....	49
6.3 Paralel Hesaplama Analizleri .....	54
6.4 Öneriler.....	55
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>57</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>71</b>



## **KISALTMALAR**

<b>CIE</b>	: Commission internationale de l'éclairage
<b>CNES</b>	: Center National d'Etudes Spatiale
<b>CPU</b>	: Central Processing Unit
<b>DFT</b>	: Discrete Fourier Transform
<b>ERGAS</b>	: Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse
<b>FFT</b>	: Fast Fourier Transform
<b>FIR</b>	: Finite Impulse Response
<b>GDTA</b>	: Groupement pour la Télédétection Aérospatiale
<b>Ghz</b>	: Gigahertz
<b>GPU</b>	: Graphics Processing Unit
<b>HFM</b>	: High Frequency Modulation
<b>HIS</b>	: Intensity-Hue-Saturation
<b>HPF</b>	: High Pass Filter
<b>HS</b>	: Hiperspectral
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>IFOV</b>	: Instantaneous Field of View
<b>LPF</b>	: Low Pass Filter
<b>Mhz</b>	: Megahertz
<b>MS</b>	: Multispectral
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration
<b>PAN</b>	: Panchromatic
<b>RAM</b>	: Random Access Memory
<b>RASE</b>	: Relative Average Spectral Error
<b>RMSE</b>	: Root Mean Square Error
<b>SAM</b>	: Spectral Angle Mapper
<b>SNSB</b>	: Swedish National Space Board
<b>SPOT</b>	: Satellite/Système Probatoire/Pour l'Observation de la Terre



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 : SPOT uydularının yörüngeye fırlatılma ve kullanım sonlandırma tarihleri .....	2
Çizelge 1.2 : SPOT 6 Uydusu Teknik Özellikler .....	2
Çizelge 2.1 : Yarış durumu yaşanmayan bakiye hareketleri .....	9
Çizelge 2.2 : Yarış durumu hatası yaşanan bakiye hareketleri .....	9
Çizelge 6.1 : Gebze şehir görüntüsü için Fourier filtre analizi.....	48
Çizelge 6.2 : İstanbul orman görüntüsü için Fourier filtre analizi.....	48
Çizelge 6.3 : Urfa tarım arazisi görüntüsü için Fourier filtre analizi .....	49
Çizelge 6.4 : Gebze şehir görüntüsü için en iyi görüntü birleştirme yöntemleri.....	49
Çizelge 6.5 : İstanbul orman görüntüsü için en iyi görüntü birleştirme yöntemleri..	51
Çizelge 6.6 : Urfa tarım arazisi görüntüsü için en iyi görüntü birleştirme yöntemleri .....	54
Çizelge 6.7 : Birleştirme yöntemlerine göre ortalama paralel hesaplama kazançları	55





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Python multiprocessing gösterimi.....	10
Şekil 3.1 : İki boyutlu FIR süzgeç.....	13
Şekil 3.2 : İki boyutlu (a) alçak geçiren, (b) yüksek geçiren, (c) bant geçiren, (d) bant söndüren filtreler.....	14
Şekil 3.3 : Butterworth alçak geçiren süzgeç.....	16
Şekil 3.4 : En yakın komşuluk ile aradeğerleme.....	18
Şekil 3.5 : Çift doğrusal aradeğerleme.....	19
Şekil 3.6 : Farklı histogram dağılımları ile görüntüler.....	21
Şekil 4.1 : Temel görüntü birleştirme şeması.....	23
Şekil 4.3 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme (2. kısım).....	25
Şekil 4.2 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme (1. kısım).....	25
Şekil 4.4 : IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme (1. kısım).....	28
Şekil 4.5 : IHS ile görüntü birleştirme (2. kısım).....	28
Şekil 4.6 : CIE L*a*b* renk uzayı.....	30
Şekil 4.7 : CIE L*a*b* ile görüntü birleştirme (1. kısım).....	31
Şekil 4.8 : CIE L*a*b* ile görüntü birleştirme (2. kısım).....	32
Şekil 4.9 : HFM ile görüntü birleştirme (1. kısım).....	34
Şekil 4.10 : HFM ile görüntü birleştirme (2. kısım).....	34
Şekil 4.11 : DFT ile görüntü birleştirme (1. kısım).....	36
Şekil 4.12 : DFT ile görüntü birleştirme (2. kısım).....	37
Şekil 4.13 : DFT ve IHS dönüşümlü karma yöntem (1. kısım).....	38
Şekil 4.14 : DFT ve HIS dönüşümlü karam yöntem (2. kısım).....	39
Şekil 4.15 : DFT ve L*a*b* dönüşümlü karma yöntem (1. kısım).....	40
Şekil 4.16 : DFT ve L*a*b* dönüşümlü karma yöntem (2. kısım).....	42
Şekil 6.1 : Orijinal boyutlarında multispektral Gebze şehir görüntüsü örneği.....	50
Şekil 6.2 : Butterworth süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Gebze şehir görüntüsü örneği.....	50
Şekil 6.3 : Butterworth süzgeçli DFT yöntemi ile pan keskinleştirmiş Gebze şehir görüntüsü örneği.....	51
Şekil 6.4 : Gaussian süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Gebze şehir görüntüsü örneği.....	51
Şekil 6.5 : Orijinal boyutlarında multispektral İstanbul orman görüntüsü örneği.....	52
Şekil 6.6 : Butterworth süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş İstanbul orman görüntüsü örneği.....	52
Şekil 6.7 : Gaussian süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş İstanbul orman görüntüsü örneği.....	52
Şekil 6.8 : Butterworth süzgeçli DFT yöntemi ile pan keskinleştirmiş İstanbul orman görüntüsü örneği.....	53
Şekil 6.9 : Orijinal boyutlarında multispektral Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.....	53
Şekil 6.10 : Butterworth süzgeçli DFT yöntemi ile pan keskinleştirmiş Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.....	53

<b>Şekil 6.11</b> : Butterworth süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.....	<b>54</b>
<b>Şekil 6.12</b> : Gaussian süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.....	<b>54</b>



## PARALEL HESAPLAMA KULLANILAN YEREL FOURIER FİLTRELERİ İLE OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ

### ÖZET

Yeryüzü kaynaklarının araştırılması ve incelenmesi araştırmacılar için her zaman ilgi çekici bir konu olmuştur. Bu araştırmaların daha geniş ölçekli ve verimli yapılabilmesi için ilk yer gözlem uydusu olan LANDSAT-1 yörüngeye fırlatılmış ve uydu görüntüleri ile çalışmalar başlamıştır.

LANDSAT-1 'in yörüngeye fırlatılmasından bu yana birçok optik uydu daha yörüngeye fırlatılmıştır. Yörüngeye gönderilen her bir uyduda daha gelişmiş optik algılayıcılara yer verilmiştir. Ancak teknolojik kısıtlamalar ve gelişmiş algılayıcı üretimindeki yüksek maliyetler nedeniyle optik uydularda hem farklı frekans aralıklarını algılayarak yüksek spektral bilgi sağlayan hem de yüksek mekânsal çözünürlük sunan algılayıcı kullanımı tercih edilmemektedir. Bunun yerine sadece yüksek mekânsal çözünürlük sunan algılayıcılar ile sadece yüksek spektral bilgi sunan algılayıcıların beraber kullanımı benimsenmiştir.

Optik bir uydudan elde edilen tek bantlı fakat yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olan pankromatik görüntü ile çok bantlı fakat düşük mekânsal çözünürlüğe sahip görüntü birleştirilerek hem yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip hem de yüksek spektral bilgiye sahip görüntü elde etmek görüntü birleştirme yöntemleri ile mümkündür. Ancak bu görüntü birleştirme yöntemlerinde hem hesaplama maliyeti hem de birleştirme kalitesi açısından sorunlar vardır.

Bu çalışma kapsamında paralel programlama ve yerel Fourier filtreleri kullanılarak en iyi ve en hızlı görüntü birleştirme algoritmalarının oluşturulması, oluşturulan bu algoritmaların hesaplama maliyetleri ve birleştirme kalitesi açısından karşılaştırılarak detaylı analizlerin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultuda modülasyon tabanlı yöntemlerden Brovey dönüşümü, bileşen değişimi yöntemlerinden IHS dönüşümü ve CIE  $L^*a^*b^*$  dönüşümü, çoklu çözünürlük analizi yöntemlerinden HFM, frekans uzayı analizi yöntemlerinden DFT ve karma yöntem olarak DFT + IHS dönüşümü ile DFT + CIE  $L^*a^*b^*$  dönüşümleri kullanılarak görüntü birleştirme yapılmıştır. Ayrıca çeşitli Fourier uzayı süzgeçleri ve histogram eşleme yöntemleri kullanılarak birleştirme başarımının artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada görüntü birleştirme için SPOT 6 uydusu tarafından algılanan tek bant pankromatik ve üç bant multispektral görüntüler kullanılmıştır. Kocaeli Gebze bölgesine ait şehir görüntüsü, İstanbul kuzey ormanlarına ait orman görüntüsü ve Urfa kırsal bölgesine ait tarım arazisi görüntüsü olarak sınıflandırılmış üç veri seti üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen birleştirilmiş görüntüler topluluk tarafından kabul edilmiş yaygın kullanıma sahip olan kalite değerlendirme yöntemleri ile test edilmiştir.

Bu çalışma ile farklı bölgelere ait farklı fiziksel özelliklere sahip uydu görüntülerinin yerel Fourier filtreleri kullanılarak en başarılı görüntü birleştirme yöntemlerinin bant

tabanlı paralel programlama ile daha hızlı çalışmasını sağlayacak algoritmanın oluşturulması ve oluşturulan bu algoritmaların hesaplama maliyetleri ve birleştirme kalitesi açısından karşılaştırılarak detaylı analizlerin ortaya konması hedeflenmiştir.



# OPTICAL SATELLITE IMAGERY FUSION USING PARALLEL PROGRAMMING AND LOCAL FOURIER FILTERS

## SUMMARY

Research on earth surface resources is always one of the most popular topics in society. First modern remote sensing applications started during Cold War between U.S.A and S.S.C.B for determining soviet military activity in Cuba in 1960s. After that, researches in remote sensing was spreaded and technics are developed. In purpose of having more accurate and useful researches on remote sensing, LANDSAT-1 was launched into orbit in 1972. After launching LANDSAT-1 into orbit, researchers started to work with satellite images.

Many optical satellites also were launched into orbit after LANDSAT-1 was launched. Each optical satellite had more technologically developed sensors than launched before that. However, having a single sensor that provides both high spectral information gathered in several frequency ranges and high spatial resolution is hard in meaning of financial and technology. Because of that reason, different approach is accepted in optical satellites. Optical satellites have two type of sensor. One of these sensors provides high spectral information and other provides high spatial resolution.

The sensor, which provides high spatial resolution, generates panchromatic image. Panchromatic image consists of only one band. The sensor, which provides high spectral information, generates multispectral image. Multispectral image consists many bands but resolution of multispectral image is lower than panchromatic image. Fusion of panchromatic and multispectral image gives us a fused image named as pansharpened image that has both high spectral information and high spatial resolution. Although pansharpened image has high spectral information and high resolution, there are some problems must be handled like fused image quality and compute time.

In purpose of achieving to have high quality fused image, several image fusion methods used in this study. These methods can be summoned to five main categories. Used fusion methods are Brovey transformation that is one of the modulation based methods, IHS transformation and CIE  $L^*a^*b^*$  transformation that are in component substitution methods, HFM that is one of the multi resolution analysis methods, DFT methods that is one of the frequency domain analysis methods, DFT + IHS transformation and DFT + CIE  $L^*a^*b^*$  transformation from hybrid methods.

Brovey method is a modulation based image fusion algorithm. This method is a very simple methods. The fact that Brovey method 's calculations do not have complex equations, it does not require much computational resources. Pansharpened images that are made using Brovey method have low image quality and low parallel computing performance.

IHS transformation method is one of the component substitution based methods. IHS is a color space. Multispectral images in RGB color space can be transformed into IHS

color space using IHS transformation matrices. In this study, this transformation matrices are reorganized and simplified. So that computational performance increased. However, because of this method has limited band independent calculations, parallel computing performance has low scores in this study.

CIE L\*a\*b\* transformation method is another component substitution based method used in this study. CIE L\*a\*b\* is also a color space similar to IHS. An image in RGB color space cannot be transformed directly into CIE L\*a\*b\* color space unlike an image in IHS color space. Firstly, The image in RGB color space has to be transformed into XYZ color space, then it can be transformed into CIE L\*a\*b\* color space. The CIE L\*a\*b\* method has many band independent calculations. So that applying parallel computing in this methods results in a high computing performance score.

The HFM fusion method is a simple algorithm that is applied in Fourier domain. Pansharpened images that are made using HFM methods has low image quality scores despite the fact that the method has high parallel computing score.

DFT method is a frequency analysis method. Its basic principal is filtering frequency components of panchromatic and multispectral images and combining them. Panchromatic image has high spatial information. This spatial information is concentrated in higher frequency components in Fourier domain. Multispectral image has high spectral information. This spectral information is concentrated in lower frequency components in Fourier domain. Spatial information of panchromatic image can be obtained using local high pass filters and spectral information of multispectral image can be obtained using local low pass filters. Summing of these frequency components gives pansharpened image. DFT method has good scores on both image quality and parallel computing performance.

DFT fusion method can be combined with conventional methods like IHS and CIE L\*a\*b\*. Combination of DFT method and conventional methods is named as hybrid methods. In this study, DFT + IHS and DFT + CIE L\*a\*b\* methods are used. Both fusion methods has good image quality and good parallel computing performance. But DFT + IHS hybrid fusion method has slightly better image quality than others.

In this study, band based multi-threaded parallel programming approach applied to achieve to decrease computation time. Tasks of each multispectral bands shared by individual threads. Thanks to multi-threaded parallel programming, computation time significantly decreased. Fusion methods that have more independent band related tasks have more successful results than others did.

In addition, some frequency domain filters like ideal filter, Gaussian filter, Butterworth filter, Hanning window and Hamming window are used to filter information from panchromatic and multispectral images. To increase fusion quality, histogram-matching operation applied in fusion methods.

SPOT 6 panchromatic and multispectral imagery dataset is used in this study. Dataset consists of three image pairs that have different geographic characteristics. First image pair is city image from city Gebze of Kocaeli in Turkey. Second image pair is forest image which covers little piece of Istanbul North Forest in Turkey. Third image pair is an agricultural field from Urfa city in Turkey.

Fused images are analyzed using quality testing methods like SAM, RMSE, ERGAS and RASE which are commonly used by society.

In this study, it is aimed that to speed up best fusion algorithms that use local Fourier filters and band based parallel programming for optical satellite images which has different geographic characteristics and also aimed to show detailed analysis of compute and image quality.







## 1. GİRİŞ

Bir bölge ya da alanın belirli bir uzaklıktan elektromanyetik spektrumun bir ya da birden fazla bölgesindeki yayımını algılayarak bilgi elde etme işlemine uzaktan algılama denir.

1990 'lı yılların başlarında roket ve uzay biliminin gelişmesi ile modern uzaktan algılama uygulamaları alanında da çalışmalar başlamıştır. İlk uzaktan algılama uygulamaları askeri alanda kullanılmıştır. 1962 'de Amerika Birleşik Devletleri tarafından Sovyetler Birliği 'nin Küba 'ya gönderdiği füzelerin ve orduların hareketlerini izlemek için yörüngeye gönderilen casus uydu ile ilk modern uzaktan algılama çalışmaları yapılmıştır. Yeryüzü kaynaklarının incelenmesi için yörüngeye fırlatılan ilk uydu ise ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) 'dir. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından 1972'de yörüngeye fırlatılan bu uydunun adı daha sonra LANDSAT-1 olarak değiştirilmiştir [1].

Aktif algılama ve pasif algılama olmak üzere iki çeşit uzaktan algılama yöntemi bulunmaktadır. Pasif uzaktan algılamadaki enerji kaynağı güneş gibi dış kaynaklardır. Sistem dışı kaynaktan yüzey ya da cisimlere ulaşan enerjinin bir kısmı soğurulurken bir kısmı da yansıtılır. Pasif uzaktan algılama, yüzey ya da cisimler tarafından doğrudan yansıtılan ya da önce soğurulup daha sonra yansıtılan enerjinin algılayarak bilgiye dönüştürülmesi işlemidir. Aktif uzaktan algılamada ise enerji kaynağı sistemin içindedir. Bu enerji kaynağından algılanmak istenen yüzey ve cisimlere belirli frekans spektrumlarında elektromanyetik enerji yayımı yapılır. Yüzey ve cisimlerden geri yansıyan enerjinin algılanarak bilgiye dönüştürülmesi işlemine ise aktif uzaktan algılama denir. Pasif uzaktan algılama gece, gündüz ve hava durumu gibi dış etmenlerden doğrudan etkilenmemektedir. Aktif uzaktan algılama herhangi bir dış enerji kaynağına bağlı olmadığı için bu etmenlerden etkilenmemektedir.

Uzaktan algılama alanındaki teknolojik gelişmelerle birlikte uzaktan algılama uydularında kullanılan algılayıcılar da gelişmiştir. Uydulardan elde edilen görüntülerin çeşitli görüntü işleme yöntemleri ile işlenerek yüksek mekânsal çözünürlük ve yüksek

spektral bilgiye sahip görüntülerin elde edilmesi mümkündür. Ayrıca bu görüntü işleme yöntemleri gelişen paralel programla algoritmalarıyla geliştirilerek daha hızlı ve verimli uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir.

spektral bilgiye sahip görüntülerin elde edilmesi mümkündür. Ayrıca bu görüntü işleme yöntemleri gelişen paralel programlama algoritmalarıyla geliştirilerek daha hızlı ve verimli uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir.

## 1.1 SPOT Uyduları

Fransız Ulusal Uzay Araştırmaları Merkezi (CNES - Center National d'Etudes Spatiale) ve Fransız Ulusal Coğrafya Enstitüsü tarafından 1970 'li yıllarda oluşturulan GDTA (Groupement pour la Teledetection Aerospaciale) araştırma grubu hava taşıtları ile elde edilmiş kamera, multispektral algılayıcı, termal radyometre gibi cihazların verileri üzerinde çalışarak yeni uygulamalar geliştirmişlerdir. Bu araştırmalar ile elde edilen bilgi birikimi neticesinde 1976 'da Fransa 'da SPOT (Satellite/Système Probatoire/Pour l'Observation de la Terre) programına başlanmıştır. Başlangıçta Fransız ulusal girişimi olan SPOT programı İsveç Uzay Kurulu (SNSB) ve Belçika Bilim Teknik ve Kültür Merkezinin (SSTC) sırasıyla 1978 ve 1979'da programa dâhil olmalarıyla SPOT programı uluslararası bir programa dönüşmüştür [2].

SPOT programı kapsamında 7 adet uydu tasarlanmış ve yörüngeye fırlatılmıştır. Son uydu olan SPOT 7, 30 Haziran 2014 'da yörüngeye fırlatılmıştır. SPOT uydularının görüngeneye fırlatılma ve kullanım sonlandırma tarihlerine çizelge 1.1 'de verilmiştir [3], [4], [5].

**Çizelge 1.1 :** SPOT uydularının yörüngeye fırlatılma ve kullanım sonlandırma tarihleri.

Uydu Adı	Yörüngeye Fırlatma Tarihi	Yörüngeden Çıkarılma Tarihi
SPOT 1	22 Şubat 1986	17 Kasım 2003
SPOT 2	22 Ocak 1990	30 Temmuz 2009
SPOT 3	26 Eylül 1993	Kasım 1996
SPOT 4	24 Mart 1998	Ocak 2013
SPOT 5	4 Mayıs 2002	31 Mart 2015
SPOT 6	9 Eylül 2012	2024 (Tasarım Ömrü)
SPOT 7	30 Haziran 2014	2024 (Tasarım Ömrü)

Bu çalışma kapsamında SPOT 6 uydusundan elde edilen pankromatik ve multispektral görüntü çiftleri üzerinde çalışılmıştır. Görüntüler, İTÜ UHUZAM (Uydu

Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi) tarafından sağlanan görüntülerdir. SPOT 6 uydusuna ilişkin teknik bilgiler çizelge 1.2 ile verilmiştir.

**Çizelge 1.2 : SPOT 6 Uydusu Teknik Özellikler.**

Özellik	Değer
Gövde Boyutları	1,55 x 1,75 2,7 m
Güneş Paneli Boyutları	5,4 m <sup>2</sup>
Ağırlık	712 kg
Ekvatorda Yükseklik	694 km
Depolama Alını	1 TB (Katı Hal Diski)
Yörünge	Güneş Senkron
Yerel ETC	Öğleden Önce 10:00
Yörünge Periyodu	98,79 dakika
Yörünge Döngüsü	26 gün
Algılayıcı Algılama Açısı	Standart $\pm 30^\circ$ , Genişletilmiş $\pm 45^\circ$
Görüntüleme Alanı	60 km x 60 km
Görüntüleme Enstrümanı	2 x Bağımsız Korsch Teleskop
Spektral Bant ve Çözünürlükler	1,5 m Pankromatik
Spektral Aralıklar	6 m Multispektral (B, G, R, NIR)
	0,450-0,745 $\mu\text{m}$ Pankromatik
	0,450-0,520 $\mu\text{m}$ Mavi (B0)
	0,530-0,590 $\mu\text{m}$ Yeşil (B1)
	0,625-0,695 $\mu\text{m}$ Kırmızı (B2)
	0,760-0,890 $\mu\text{m}$ Yakın Kızılötesi (B3)
Görüntü Kodlama	12 bit
Telemetri Link	X Bandı Kanalı – 300 Mbit/s

## 1.2 Paralel Programlamada Temel Kavramlar

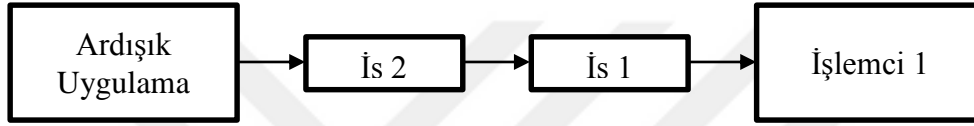
Teknolojik gelişmelerle birlikte bilgisayar bilimleri alanında da oldukça büyük gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle işlemcilerde (CPU – Central Processing Unit) gerçekleşen teknolojik gelişim evimizde kullandığımız kişisel bilgisayarlarımızdan büyük veri merkezlerinde yer alan ve bulut teknolojilerine kullanılan sunuculara kadar her türlü bilgisayar ve hesaplama cihazında yüksek hesaplama gücünün erişilebilir olmasını mümkün kılmıştır.

Gelişen işlemci teknolojisinde, bir işlemcinin yüksek hesaplama kapasitesini belirleyen en önemli etkenlerinden ikisi işlemcide yer alan çekirdek sayısı ve bu çekirdeklerin saat hızıdır (Clock cycle/Frequency).

Çekirdek kısaca bir işlemcideki asıl hesaplama işini yapan bölüm olarak tanımlanabilir. Bir işlemcide birden fazla sayıda çekirdek yer alabilir. Bu çekirdekler aynı anda birbirlerinden bağımsız şekilde hesaplama yapabilirler.

Saat hızı ya da saat frekansı ise ayrık zamanlı sistemlerdeki işaret değişiminin yapılabilirdiği en küçük zaman aralığını ifade eder. Bu değer frekans birimi olan Hertz (Hz) cinsinden ifade edilir. Günümüzde yaygın kullanılan modern işlemcilerin saat hızları GHz (Gigahertz) mertebelerindedir.

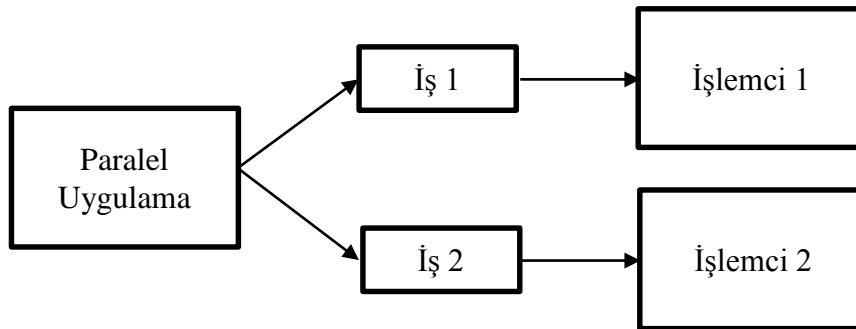
Çok işlem destekli işletim sistemleri, çalışan uygulamaların işlerinin önceliklendirilmesi, sıraya koyulması ve organize edilmesinden sorumludur [6]. Ardışık çalışan bir uygulamadaki işler işletim sistemi tarafından sırayla işlemciye gönderilir. İşlemci çok çekirdekli olsa bile çalışan uygulamadaki her bir görev, bir önceki görevin tamamlanmasıyla başlatılır. Ardışık çalışma mekanizması şekil 1.1 ile gösterilmiştir.



**Şekil 1.1 :** Ardışık Uygulama Çalışması.

Paralel çalışan bir uygulamada ise işler birbirinden bağımsız olarak aynı anda çalışabilirler. Şekil 1.2’de iki işlemcili (ya da iki çekirdekli) bir sistemde çalışan bir uygulamanın örnek çalışma mekanizması gösterilmiştir.

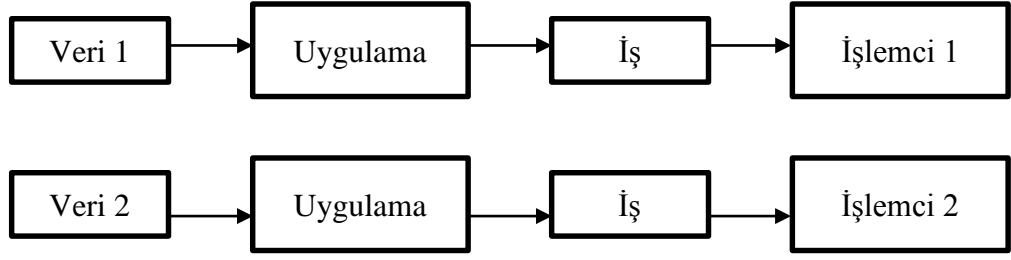
Paralel programlama birçok avantaj sağlamaktadır. Bunların en başında hesaplama sürelerinde ve maliyetlerinde sağladığı düşüş gelmektedir. Paralel programlama, çözülmesi gereken karmaşık problemlerin daha hızlı çözülmesine olanak sağlar. Böylece zamandan ve maliyetten tasarruf edilir.



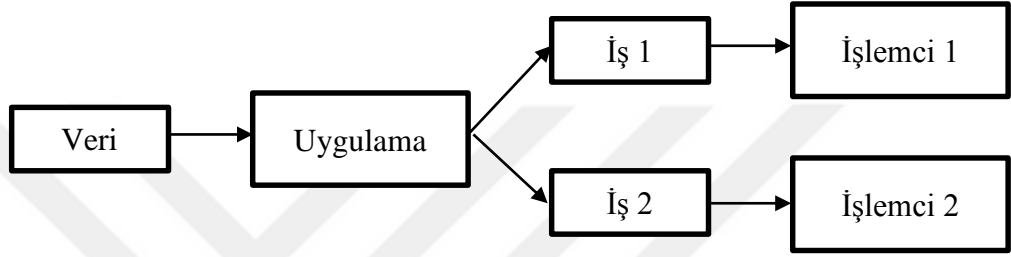
**Şekil 1.2 :** Paralel Uygulama Çalışması.

Paralel programlamada iki önemli paralelleştirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar verinin paralelleştirilmesi ve görevlerin paralelleştirilmesidir. Verinin paralelleştirilmesi, bir uygulamanın farklı veri kümeleri ile aynı anda çalışmasını ifade eder. Görevlerin paralelleştirilmesi ise bir uygulama içindeki birbirinden bağımsız

farklı görevlerin aynı anda çalışmasını ifade eder [7]. Altta yer alan şekil 1.3’de veri paralelleştirilmesi, şekil 1.4 ‘de ise görev paralelleştirilmesi görselleştirilmiştir.



Şekil 1.3 : Veri paralelleştirme.



Şekil 1.4 : Görev paralelleştirme.

### 1.3 Tezin Amacı Ve Kapsamı

Bir cisim belirli bir elektromanyetik spektrumdaki bir ışınımına maruz bırakıldığında, cisim bu spektrumdaki bir takım dalgaboylarındaki elektromanyetik ışınımı soğururken bir takımını da geri yansıtır. Uzaktan algılama uygulamaları bu geri yansıtılan dalgaboylarını algılanarak bilgiye çevirmekle ilgilenir. Uzaktan algılamada kullanılan bir algılayıcının algılayabildiği dalgaboyu aralıkları o algılayıcının spektral çözünürlüğünü belirler. Algılayıcı tarafından algılanan spektrum ne kadar küçük dalgaboyu alanlarına ayrılabilirse, algılayıcı o kadar yüksek spektral çözünürlüğüne sahip olur. Uzaktan algılama uydularında yer alan algılayıcılar üç tip görüntü sağlayabilir. Bunlar tek bantlı görüntü olan pankromatik (PAN) görüntü, birkaç banttandır oluşan multispektral (MS) görüntü ve çok fazla banttandır oluşan hiperspektral (HS) görüntülerdir. Pankromatik görüntü tek banttandır oluşur ve yüksek mekânsal bilgi içerir. Mekânsal çözünürlük uydunun anlık görüş alanına (IFOV – Instantaneous Field of View) ve yüksekliğine bağlıdır. Multispektral görüntü genellikle kırmızı, yeşil ve mavi gibi alt dalgaboylarını algılayan birkaç banttandır oluşmaktadır. Multispektral görüntülerde ise çok fazla sayıda ve çeşitlilikte alt dalgaboyları algılanmakta ve çok sayıda banttandır meydana gelmektedir [8].

Uzaktan algılamadaki en büyük gereksinim yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüğe sahip görüntüye sahip olmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, optik uydu görüntülerinden elde edilen yüksek mekânsal düşük spektral çözünürlüğe sahip olan pankromatik görüntü ile düşük mekânsal yüksek spektral bilgiye sahip multispektral görüntü birleştirilerek hem yüksek mekânsal hem de yüksek spektral çözünürlüğe sahip görüntü elde edilir. Bu işleme görüntü birleştirme (Image Fusion) ya da pan keskinleştirme (pan-sharpening) adı verilmektedir.

Pan keskinleştirmedeki temel iki problem ise birleştirme kalitesi ve birleştirme hesaplama zamanıdır. Bu çalışma kapsamında literatürde kullanılan pan keskinleştirme yöntemleri yerel fourier filtreleri kullanılarak zenginleştirilerek bant tabanlı paralelleştirilmiş algoritmalar oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmalarda hem veri paralelleştirilmesi hem de görev paralelleştirilmesi kullanılarak hesaplama sürelerinin düşürülmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada SPOT 6 uydusundan elde edilen pankromatik ve multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntü çiftleri Kocaeli Gebze bölgesine ait şehir görüntüsü, Kuzey İstanbul Ormanlarını içeren orman görüntüsü ve Urfa kırsal alanına ait tarım arazisi görüntüsünden oluşmaktadır. Tüm yazılım içeriği Python programlama dili kullanılarak yazılmış, paralelleştirme için Python dilinin çoklu iş parçacığı (multi-threading) kütüphanesi kullanılmıştır. Uygulama ve benzetimler Ubuntu 18.04 LTS işletim sistemine ve 8 GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde yapılmıştır. İşlemci olarak Intel Core i7 4600U modeli kullanılmıştır. İki adet fiziksel çekirdeğe sahip bu işlemci normal durumda 2.1 GHz, turbo durumunda 2.7 GHz hızında çalışmakta olup HyperThreading özelliği kapalı tutularak kullanılmıştır.

Geliştirilen paralel programlamalı karma pan keskinleştirme algoritmaları ile şehir, orman ve tarım arazisi görüntüleri üzerinde farklı yerel fourier filtreleri ve histogram eşleme zenginleştirmesi ile farklı coğrafi özelliklere sahip görüntüler için en başarılı ve hızlı yöntem geliştirme, uygulama ve analiz çalışması yapılmıştır.

## 2. PYTHON İLE PARALEL PROGRAMLAMA

Python programlama dili 1985 - 1990 yılları arasında Guido van Rossum tarafından Hollanda 'daki CWI (Centrum Wiskunde & Informatica) kurumunda çalışırken geliştirilmiştir [9]. İlk sürümü Ocak 1991 'de Guido van Rossum tarafından yayınlanan Python programlama dili, Guido 'nun liderliğinde açık kaynak kodlu bir proje olarak topluma açık şekilde topluluk tarafından geliştirilmeye devam edilmiştir. Uzun yıllar geliştirici ve karar alıcı rolünde Python programına destek veren Guido, 12 Temmuz 2018'den itibaren karar mekanizmasında yer almayacağını açıklamıştır [10]. Python programlama dilin, geliştirme programı günümüzde tamamen topluluk tarafından açık kaynak kodlu olarak geliştirilmeye devam edilmektedir.

Python programlama dili, öğrenmesi ve kullanması oldukça basit yüksek seviyeli nesneye dayalı bir programlama dildir. Konuşma diline oldukça yakın ve okunması kolay sözdizimi kuralları vardır. Yorumlayıcı tabanlı bir dil olan Python, kullanıcı ile etkileşimli şekilde derlenmeden çalıştırılabilir. Derleme işlemi yorumlayıcı tarafından kullanıcıdan bağımsız olarak yapılır. Birçok popüler işletim sistemi üzerinde çalıştırılabilir. Python için topluluk tarafından geliştirilen kullanıma hazır ve oldukça işlevsel çok sayıda hazır kütüphane bulunmaktadır.

Tüm bu nedenlerden dolayı Python programlama dili, günümüzde farklı alanlarda yaygın bir kullanıma sahip olan oldukça popüler bir programlama dilidir.

### 2.1 Paralel Programlamadaki Sorunlar

Paralel programlama yöntemleri ile uygulama geliştirmek, hesaplama performansı bakımından oldukça verimlidir. Ancak bir algoritmayı paralel programlama ile geliştirmek başlı başına bir sorundur. Paralel programlama ile uygulama geliştirmek için geliştiricilerin dikkat etmesi gereken birtakım sorunlar vardır. Bu sorunlar düşünülmediği takdirde uygulama çalışmayabilir ya da hatalı sonuçlar üretilebilir. Dikkat edilmesi gereken bu sorunlar alttaki bölümde açıklanmıştır.

### 2.1.1 Kilitlenme

Kilitlenme (Deadlock), İki veya daha fazla işlemin karşılıklı olarak birbirlerinin kullandığı kaynakların serbest bırakılmasını bekleyen durumdur [7]. Daha anlaşılır olması için gerçek hayata uyarlıysak, her iki tarafa da açılabilen bir kapı ve bu kapının her iki tarafında bulunan A ve B kişilerini hayal ediniz. A ve B kişilerinin aynı anda bu kapıdan geçmek için kapının kulpunu tuttuklarını ve gidecekleri yöne itmeye çalıştıklarını düşünün. Bu kişilerin amaçlarını gerçekleştirebilmesi için diğer kişinin kapının kulpunu serbest bırakması gerekmektedir. Bu gerçekleşmediği takdirde her iki kişi de yapmayı amaçladıkları eylemi gerçekleştirememekte ve durumu kilitlenmektedirler.

### 2.1.2 Açlık

Açlık ya da kıtlık (starvation), öncelik tanınmış bir işlemin sistem kaynaklarını kullanması ve diğer işlemlerin yeterli sistem kaynağına erişememesi durumudur [7]. Örnekleyecek olursak, yüksek öncelik tanınmış bir uygulamanın işlemcinin tüm hesaplama gücünü sürekli olarak kullandığını hayal edin. Bu durumda düşük öncelikli işlemlerin hesaplama yapabilmesi için herhangi CPU zamanı alması mümkün olmayacaktır. Bir diğer deyişle bu uygulama CPU açlığı çekecektir.

### 2.1.3 Yarış durumu

Yarış durumu (Race Condition), bir işlemin sonucunun bir dizi işlemler sürecine bağlı olması ve bu işlemler arasında eş zamanlama bulunmaması durumunda ortaya çıkan bir hatadır [7]. Daha iyi anlamak için ortak bir banka hesabında işlem yapan iki müşterinin işlemleri kurgulanabilir.

Çizelge 2.1'de ortak hesap üzerinde sırayla işlem yapan A ve B müşterilerin işlem hareketleri ve hesabın son bakiye durumu gösterilmiştir. Sırasıyla yapılan bu işlemlerde herhangi bir hatalı durum oluşmamıştır.

Çizelge 2.2'de ise ortak hesap üzerinde aynı anda işlem yapan A ve B müşterilerinin işlem hareketlerine ve hesabın son bakiye durumuna yer verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere A müşterisinin para çekme işlemi mevcut bakiyeye yansıtılmasından önce B müşterisinin para okuma işlemi yapıldığı ve en son B müşterisinin "İşlemi Tamamla" işi çalıştığı için bakiye, güncel olmayan değer üzerinden hesaplanarak



sonuca yansıtılmıştır. Bu da yarış durumu hatasının ortaya çıkmasına ve son bakiyenin olması gerekenden farklı hesaplanmasına neden olmuştur.

**Çizelge 2.1 : Yarış durumu yaşanmayan bakiye hareketleri.**

A Müşterisi	B Müşterisi	Hesap Bakiyesi (TL)
		100
Bakiye Oku		100
20 TL Yatır		100
İşlemi Tamamla		120
	Bakiye Oku	120
	10 TL Çek	120
	İşlemi Tamamla	110

**Çizelge 2.2 : Yarış durumu hatası yaşanan bakiye hareketleri.**

A Müşterisi	B Müşterisi	Hesap Bakiyesi (TL)
		100
Bakiye Oku		100
100 TL Çek		100
	Bakiye Oku	100
	10 TL Çek	100
İşlemi Tamamla		0
	İşlemi Tamamla	90

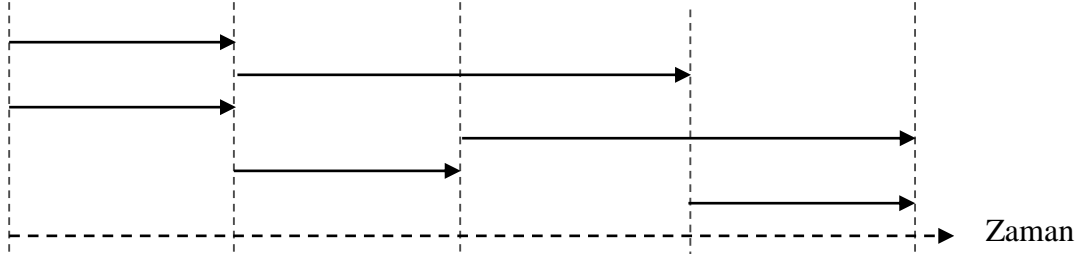
## 2.2 Python Paralel Programlama Araçları

Tüm dünyada oldukça yaygın kullanıma sahip olan Python programlama dili, paralel programlamayı destekleyen bir dildir. Python dilinde yerleşik olarak gelen multiprocessing ve threading adında iki adet paralel programlama modülü yer almaktadır. Bu modüller ile paralel programlama yapılabilmektedir.

### 2.2.1 Python multiprocessing modülü

Python multiprocessing modülü, işletim sistemi üzerinde aynı anda farklı işlemler (process) çalıştırarak paralelleştirme sağlayan Python standart kütüphanesinde yer alan bir modüldür [7]. Her işlem bağımsız veriye ve bağımsız kaynağa sahip olduğu için çalıştırılan paralel işlemler ortak veri ve ortak kaynak kullanmazlar. İşlemler arası haberleşme ve veri transferleri düşünülerek tasarlanmalıdır. Şekil 2.1 ile iki çekirdekli bir sistemde çoklu işlem akışı gösterilmiştir

Şekildeki oklar zaman düzleminde devam eden işlemleri temsil etmektedir. Sistemde iki çekirdekli işlemci varsayıldığı için herhangi bir zaman noktasından çizilen dikey kesit en fazla iki adet işlemi kesmektedir

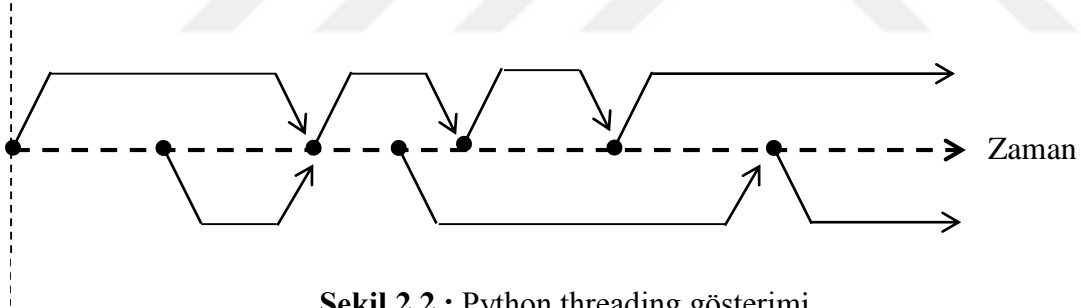


**Şekil 2.1** : Python multiprocessing gösterimi.

### 2.2.2 Python threading modülü

İş parçasığı (thread), bir işletim sisteminde diğer iş parçasıkları ile beraber aynı anda ya da ardı sıra çalışabilen bağımsız iş akışıdır [11]. Bir işlem (process) birden çok iş parçasığı çalıştırabilir. Bu iş parçasıkları ortak veri ve sistem kaynaklarını kullanır.

İş parçasıklarının çalıştırılması ve organize edilmesi işletim sistemi tarafından yapılmaktadır. Çok çekirdekli bir işlemcide her bir çekirdek aynı anda bir iş parçasığını çalıştırabilir. Çoklu iş parçasıkları, uygun olan çekirdeğe gönderilerek uygulamanın paralel işlerini yürütmesi sağlanır. Şekil 2.2 ile iki çekirdekli bir sistemde çoklu iş parçasıklı işlem akışı gösterilmiştir.



**Şekil 2.2** : Python threading gösterimi.

Şekilde kalın kesikli ok ana uygulamanın zaman düzlemindeki akışını, ince düz oklar ise ana programdan türeyen iş parçasıklarının (thread) zaman düzleminde başlama ve bitiş akışını göstermektedir. Sistemde iki çekirdekli işlemci varsayıldığı için herhangi bir noktadan çizilen dikey kesit en fazla iki adet iş parçasığını kesmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında ortak veri ve sistem kaynaklarına erişim, esnek ve kolay kullanım gibi özellikleri nedeniyle threading modülü kullanılmıştır.

### 3. BİRLEŞTİRME ÖNCESİ GÖRÜNTÜ İŞLEME UYGULAMALARI

Görüntü işleme uygulamalarında farklı amaçlara yönelik birçok yöntem ve araç uygulanmaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan çeşitli görüntü işleme yöntemleri ve uygulanan teknikler altta konu başlıkları halinde incelenmiştir.

#### 3.1 İki Boyutlu Ayrık Fourier Dönüşümü

Ayrık fourier dönüşümü, sonlu sayıda eleman içeren bir veri kümesinin matematiksel bir işleme sokulması ile bu veri kümesinin sinüs ve kosinüs fonksiyonları toplamı cinsinden ifade edilmesine olanak sağlayan matematiksel bir dönüşümdür [12]. Fourier dönüşü tek boyutlu bir seriye uygulanabildiği gibi çok boyutlu veri kümelerine de uygulanabilir.

Uydu görüntüleri, iki boyutlu sonlu veri kümeleridir ve Fourier dönüşümü uygulanarak iki boyutlu frekans analizleri yapılabilir. Bir görüntü üzerinde yapılmak istenen çeşitli uygulamalar frekans uzayında daha kolay matematiksel işlemler şeklinde yapılabilmektedir. Bu yüzden görüntülerin frekans uzayında işlenmesi oldukça sık kullanılan tekniktir.

İki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü denklem 3.1a ile ters dönüşümü ise 3.1b ile tanımlanmıştır [13].

$$F(u, v) = \begin{cases} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}, & 0 \leq u \leq M-1 \\ & 0 \leq v \leq N-1 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}, \quad (3.1a)$$

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}, & 0 \leq x \leq M-1 \\ & 0 \leq y \leq N-1 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}, \quad (3.1b)$$

Bu denklemlerde yer alan  $f(x, y)$  fonksiyonu,  $M$  satırlı ve  $N$  sütunlu iki boyutlu görüntüyü ifade ederken,  $F(u, v)$  fonksiyonu da görüntünün frekans uzayı gösterimini ifade etmektedir.

Denklem 3.1a ve 3.1b ile ifade edilen dönüşüm öbeği açıldığında 3.2a ve 3.2b denklemlerinde görülen ifade elde edilebilir.

$$\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} = \sum_{x=0}^{M-1} \left[ \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{vy}{N}\right)} \right] e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M}\right)} \quad (3.2a)$$

$$\frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \left[ \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{vy}{N}\right)} \right] e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M}\right)} \quad (3.2b)$$

Buradaki ifadelerde görüldüğü üzere, önce sütun doğrultusunda bir boyutlu diziler halinde Fourier dönüşü uygulanmış ardından elde edilen ifadede satır doğrultusundaki bir boyutlu diziler halinde Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Fourier uzayının değişme özelliği kullanılarak bu ifadelerde yer değişikliği yapılabilir. Bu durumda Fourier dönüşümü önce satır sonra sütun doğrultusunda uygulanır ve sonuçta herhangi bir değişiklik yaratmaz.

Ayrıncı Fourier dönüşümü işlemlerini ikili hesaplama yapan günümüz bilgisayarlarında daha hızlı gerçekleştirebilmek için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT – Fast Fourier Transform) algoritmaları geliştirilmiştir. FFT algoritmalarının temel hesaplama prensibi, dönüşümü yapılacak sonlu dizinin daha küçük alt dizilere bölünerek işlemlerin yapılmasıdır.  $N=2^v$  olmak üzere,  $N$  elemanlı bir diziye FFT uygulandığında  $v = \log_2 N$  adım gereklidir. Her adımda  $N$  adet işlem yapılır. Toplam işlem sayısı denklem 3.3 ile elde edilir [12].

$$C = N \times v = N \times \log_2 N, \quad (3.3)$$

Bu çalışmada kullanılan görüntüler hem satır hem de sütun yönünde ikinin katı elemana sahip olacak şekilde 1024 satırlı 1024 sütunlu PAN görüntü, 256 satırlı 256 sütunlu MS görüntü olarak kullanılmıştır. Görüntülerin frekans analizi için Python Numpy kütüphanesinde yer alan iki boyutlu fft fonksiyonları kullanılmıştır.

### 3.2 Sayısal Süzgeçler

İki tip sayısal süzgeç bulunmaktadır. Bunlar Sonlu Dürtü Yanıtlı (FIR - Finite Impulse Response) süzgeçler ve Sonsuz Dürtü Yanıtlı (IIR - Infinite Impulse Response) süzgeçlerdir. Bu süzgeçler görüntü işleme uygulamalarında görüntünün yumuşatılması, keskinleştirilmesi, kenar tespiti, kaynaştırma, gürültü azaltma gibi çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Süzgeçler hem frekans hem de

mekânsal uzayda çalışacak şekilde tasarlanıp kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan süzgeçler frekans uzayında tasarlanan iki boyutlu FIR süzgeçleridir.

Frekans uzayındaki iki boyutlu FIR süzgeçlerinin matematiksel gösterimi denklem 3.4 ile verilmiştir [13].

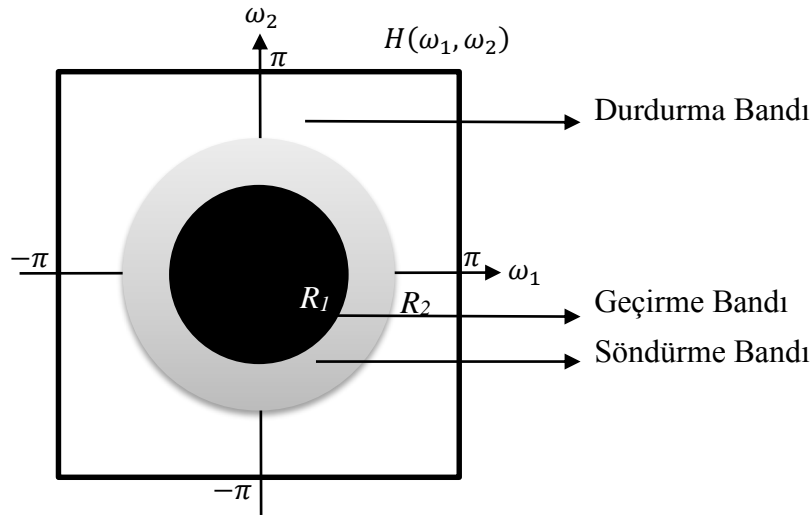
$$H(\omega_1, \omega_2) = H(\omega_1 + 2\pi, \omega_2) = H(\omega_1, \omega_2 + 2\pi) = H(\omega_1 + 2\pi, \omega_2 + 2\pi) \quad (3.4)$$

$$-\pi \leq \omega_1 \leq \pi$$

$$-\pi \leq \omega_2 \leq \pi$$

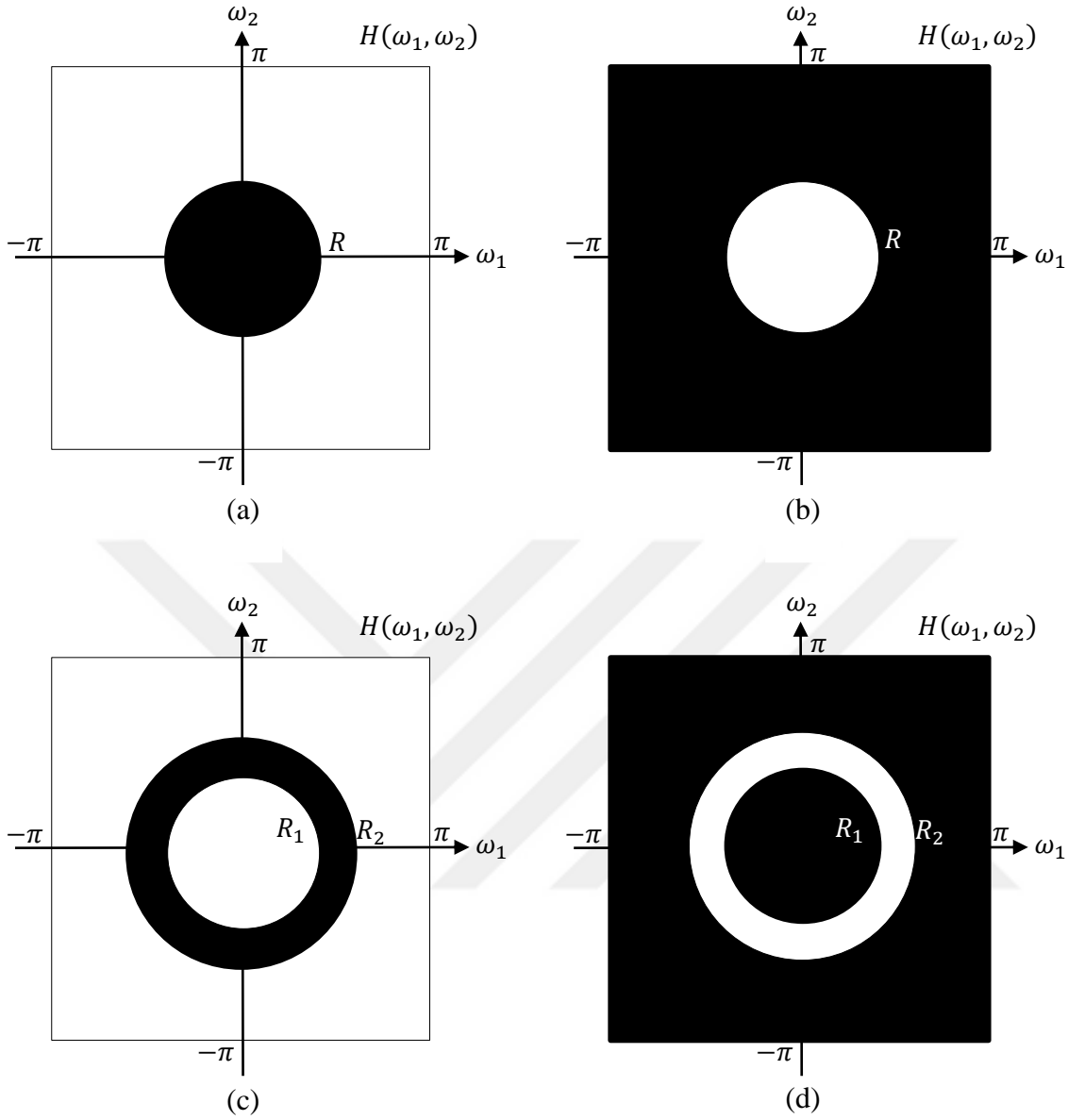
Şekil 3.1 'de iki boyutlu süzgeçlerin genel tasarımı gösterilmiştir. İki boyutlu süzgeçler de bir boyutlu süzgeçler gibi durdurma, söndürme ve geçirme bandına sahiptir. Bir boyutlu süzgeçlerden farklı olarak dairesel simetrik ve  $2\pi$  periyodu ile tekrar eder.

İdeal süzgeçler, söndürme bandı olmayan süzgeçlerdir. Şekil 3.2'de sırasıyla alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran olmak üzere dört adet ideal süzgeç temsil edilmiştir. Bu gösterimde siyah renk ile boyanan kısımlar geçiren kısmı temsil eder ve filtreleme işleminde (frekans uzayında çarpım işlemi) etkisiz eleman olan 1 değerine sahiptir. Beyaz renk ile boyanan bölümler ise durduran kısmı temsil eder ve filtreleme işleminde yutan eleman olan 0 değerine sahiptir.



**Şekil 3.1 :** İki boyutlu FIR süzgeç.

Fourier uzayındaki bir görüntüyü filtrelemek için görüntü iki boyutlu süzgeç ile çarpım işlemine uğratılır. Çarpım işleminin yapılabilmesi için frekans uzayındaki görüntü ile süzgeç aynı boyutlara sahip olmalıdır. Yüksek frekanslar keskinlik bilgisini içerirken düşük frekanslar yumuşaklık bilgisini içerir. Bu çalışmada kullanılan süzgeçlerde  $0,5\pi$  sabit kesme frekansı kullanılmıştır [14].



**Şekil 3.2 :** İki boyutlu (a) alçak geçiren, (b) yüksek geçiren, (c) bant geçiren, (d) bant söndüren filtreler.

Bu çalışma kapsamında filtreleme işlemlerinde kullanılan alçak ve yüksek geçiren süzgeçler, filtrelemeye bağlı bilgi kaybı olmaması için alçak ve yüksek geçiren filtre çiftinin aynı noktaya ait sayısal değerlerinin toplamı 1 olacak şekilde tasarlanmıştır [14].

Pankromatik görüntüler yüksek mekânsal çözünürlük içerdiği için frekans uzayında yüksek frekans bileşenlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Multispektral görüntüler ise yüksek spektral bilgiye sahip olduğu için frekans uzayında yoğun olarak

düşük frekans bileşenlerine sahiptir. Mekânsal bilgiyi elde etmek için pankromatik görüntüye yüksek geçiren süzgeç uygulanır. Spektral bilgiyi elde etmek için ise multispektral görüntüye alçak geçiren süzgeç uygulanır. Böylece her iki görüntüden de bilgi yoğunluğu yüksek bölümler elde edilir ve ardından bu bilgiler kullanılarak pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

### 3.2.1 İdeal alçak ve yüksek geçiren süzgeçler

İdeal süzgeçler söndürme bandı olmayan, sadece geçirme ve durdurma bandı olan süzgeçlerdir. İdeal alçak ve yüksek geçiren süzgeçlerin matematiksel ifadesi denklem 3.5 çifti ile ifade edilmiştir.

$$H(\omega_1, \omega_2) = \begin{cases} 1, & D(\omega_1, \omega_2) \leq D_0 \\ 0, & D(\omega_1, \omega_2) > D_0 \end{cases} \quad (3.5a)$$

$$H(\omega_1, \omega_2) = \begin{cases} 0, & D(\omega_1, \omega_2) \leq D_0 \\ 1, & D(\omega_1, \omega_2) > D_0 \end{cases} \quad (3.5b)$$

Bu ifadelerde  $D_0$  kesim frekansını,  $D(\omega_1, \omega_2)$  orijinden uzaklığı ifade etmekte olup 3.5a ile gösterilen ifade ideal alçak geçiren, 3.5b ile gösterilen ifade ideal yüksek geçiren süzgece ait ifadelerdir.

### 3.2.2 Butterworth alçak geçiren süzgeç

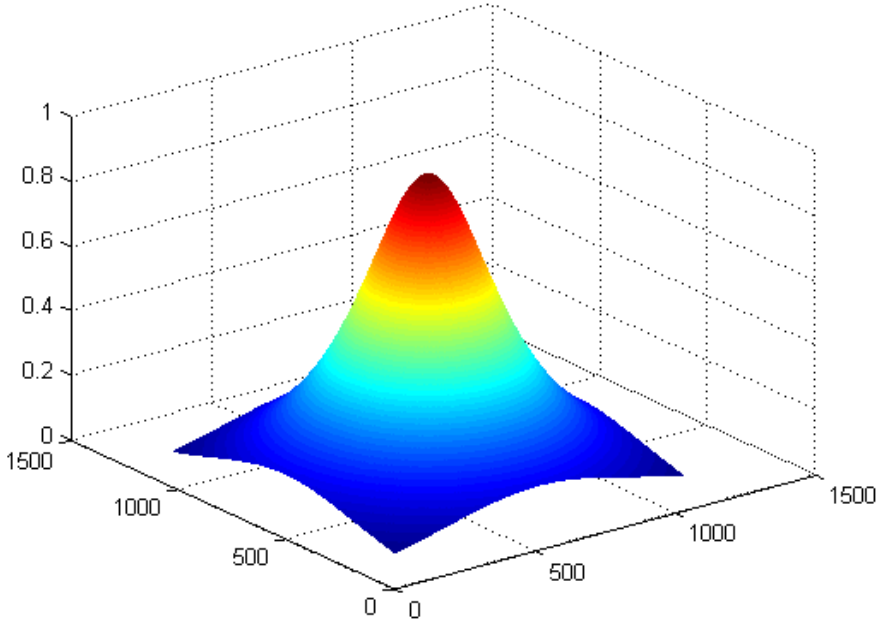
Butterworth süzgeci, geçirme ve durdurma bantlarının arasında söndürme bandına da sahip olan bir süzgeç tipidir. Butterworth süzgecinin matematiksel ifadesi denklem 3.6 ile ifade edilmektedir [15].

$$H(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{1 + \left(\frac{D(\omega_1, \omega_2)}{D_0}\right)^{2n}} \quad (3.6)$$

Bu ifadede yer alan  $D_0$  ifadesi kesim frekansını,  $D(\omega_1, \omega_2)$  ifadesi ise orijinden uzaklığı ve  $n$  değişkeni de süzgecin derecesini ifade etmektedir.

Süzgeç derece değişkeni  $n$  değiştirilerek şekil 3.3'de üç boyutlu olarak gösterilen filtrenin söndürme bandını eğimi artırılıp azaltılabilir. Böylece süzgecin söndürme bandında daha yumuşak ya da sert geçişlerin yapılması sağlanır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan Butterworth alçak geçiren süzgecin derecesi  $n=1$  olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.3 : Butterworth alçak geçiren süzgeç.

### 3.2.3 Gaussian alçak geçiren süzgeç

Gaussian süzgeci sinyal işleme ve görüntü işleme uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir süzgeç tipidir. Bir görüntü, Gaussian süzgecinden geçirildiğinde görüntüde yumuşama meydana gelir. Bu yumuşatma işlemi görüntülerde özellikle tuz biber gürültüsü adı verilen bir çeşit gürültüyü gidermek için sıklıkla uygulanır. Gaussian bir eğime sahip olan bu süzgecin matematiksel ifadesi denklem 3.7 ile ifade edilmektedir [16].

$$H(\omega_1, \omega_2) = e^{\frac{-D(\omega_1, \omega_2)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.7)$$

Bu ifadede  $D(\omega_1, \omega_2)$  orijinden uzaklığı ifade ederken  $\sigma$  ise standart sapmayı ifade etmektedir. Standart sapma  $\sigma$  aynı zamanda kesim frekansını da belirlemektedir.

### 3.2.4 Hanning penceresi

Julius von Hann tarafından tasarlanan Hanning Penceresi, görüntü işleme uygulamalarında süzgeçleme işlemleri için sık kullanılan pencerelerden biridir. Ayrık zamanlı bir fonksiyon ile ifade edilen Hanning penceresinin matematiksel ifadesi denklem 3.8 ile gösterilmiştir [12].

$$W(\omega_1, \omega_2) = \begin{cases} 0,5 - 0,5 \cos\left(\frac{2\pi D(\omega_1, \omega_2)}{D_0}\right), & D(\omega_1, \omega_2) \leq D_0 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.8)$$



Bu ifadede yer alan  $D_0$  ifadesi kesim frekansını,  $D(\omega_1, \omega_2)$  ifadesi ise orijinden uzaklığı ifade etmektedir.

### 3.2.5 Hamming penceresi

Richard W. Hamming tarafından geliştirilen Hamming penceresi esasen farklı katsayılar ile yeniden formüle edilen bir Hanning penceresidir. Hanning penceresi ifadesinde yer alan 0,5 sayısal değerli sabit katsayısı 0,54 değeriyle ve 0,5 sayısal değerli kosinüs terimi katsayısı da 0,46 değeriyle güncellendiğinde Hamming penceresi elde edilir. Hamming penceresinin matematiksel olarak ifadesi denklem 3.9 ile ifade edilmektedir [12].

$$W(\omega_1, \omega_2) = \begin{cases} 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi D(\omega_1, \omega_2)}{D_0}\right), & D(\omega_1, \omega_2) \leq D_0 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.9)$$

Bu ifadede yer alan  $D_0$  ifadesi kesim frekansını,  $D(\omega_1, \omega_2)$  ifadesi ise orijinden uzaklığı ifade etmektedir.

### 3.3 Görüntü Ölçeklendirme Yöntemleri

Görüntü ölçeklendirme, bir görüntünün sahip olduğu piksel cinsinden en ve boy büyüklüklerinin artırılması ya da azaltılması için görüntü piksel değerlerinin yeniden hesaplanması işlemidir. Ölçekleme için mevcut piksel değerleri çeşitli matematiksel işlemler ile yeniden hesaplanarak yeni piksel değerleri elde edilir.

Bu çalışmada kullanılan SPOT 6 pankromatik görüntüler, SPOT 6 multispektral görüntülerin dört katı büyüklüğe sahiptir. Görüntü birleştirme yöntemlerinin uygulanabilmesi için pankromatik ve multispektral görüntülerin boyutlarının aynı büyüklüğe sahip olması gerekmektedir. Bunun için multispektral görüntüler yukarı ölçeklenir (up scaling).

Görüntü birleştirme sonucu elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntünün yüksek birleştirme başarımına sahip olması için kullanılan yukarı ölçeklenmiş multispektral görüntünün mümkün olduğunca az bilgi bozulmasına uğraması gerekmektedir. Bu kapsamda altta ayrıntılarına yer verilen farklı görüntü ölçekleme yöntemleri test edilmiş ve yukarı ölçeklemede en iyi kalite değerlerine sahip olan Bilineer Enterpolasyon yönteminin kullanılmasında karar kılınmıştır.

### 3.3.1 En yakın komşuluk ile aradeğerleme

Görüntü ölçekleme yöntemleri içinde en basit yöntem En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbor Interpolation) yöntemidir. Basit hesaplama mekanizması ile en az işlem maliyeti de yine bu yönteme aittir.

Bu yöntem ile yeniden ölçeklenen bir görüntüdeki piksel değerleri, kaynak görüntüdeki en yakın komşusunun piksel değerinin doğrudan kopyalanması ile sağlanır [17]. Bu yöntemde, yeni görüntüdeki piksel değerlerinde herhangi bir iyileştirme işlemi yapılmadığı için yeni görüntüde gözü rahatsız eden keskin geçişler gözlenebilir.

Şekil 3.4 ile 4x4 çözünürlüklü örnek bir veri kümesinin 8x8 çözünürlüğe ölçeklendirilmesi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere yeni veri kümesindeki değerler kaynak veri kümesindeki en yakın komşunun değerine sahiptir.



Şekil 3.4 : En yakın komşuluk ile aradeğerleme.

### 3.3.2 Kübik eğrilik ile aradeğerleme

Kübik eğrilik yöntemi (Bicubic Interpolation, Cubic Convolution Interpolation), ölçeklendirme yöntemleri arasında en fazla hesaplama maliyetine sahip olan yöntemlerden biridir. Kübik eğrilik yönteminin matematiksel ifadesi denklem 3.10a ve 3.10b ile gösterilmiştir [18].

$$g(x_0, y_0) = \sum_i \sum_j f(x, y) u(x_0 - i) u(y_0 - j) \quad (3.10a)$$

$$u(s) = \begin{cases} \frac{3}{2}|s|^3 - \frac{5}{2}|s|^2 + 1 & , \quad 0 < |s| < 1 \\ -\frac{1}{2}|s|^3 + \frac{5}{2}|s|^2 - 4|s| + 2 & , \quad 1 < |s| < 2 \\ 0 & , \quad 2 < |s| \end{cases} \quad (3.10b)$$

Bu ifadelerde  $s$  pikselin yoğunluk değerini,  $f$  fonksiyonu kaynak görüntüyü,  $(x,y)$  kaynak görüntüdeki pikselin konumunu,  $g$  fonksiyonu ölçeklenmiş görüntüyü,  $(x_0, y_0)$  ise ölçeklenmiş görüntüdeki pikselin konumu belirtmektedir.

### 3.3.3 Çift doğrusal aradeğerleme

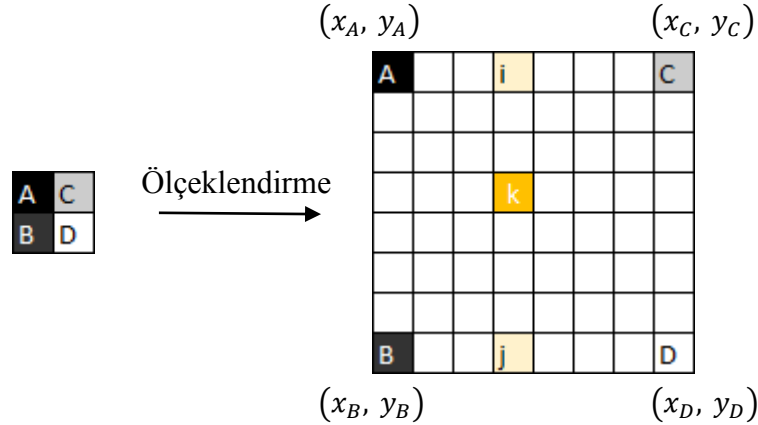
Çift doğrusal aradeğerleme (Bilinear Interpolation) hem hesaplama maliyeti hem de ölçeklenmiş görüntü kalitesi bakımından en yakın komşuluk ve kübik eğrilik yöntemlerine göre daha uygun bir çözüm sunan bir yöntemdir. Bu yöntem ile yeniden ölçeklenerek hesaplanacak olan piksel değeri,  $2 \times 2$  'lik komşuluğundaki piksel değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır [17].

Şekil 3.5 ile  $2 \times 2$  çözünürlüğündeki bir örnek veri setinin  $8 \times 8$  çözünürlüğüne sahip bir veri kümesine ölçeklenmesi gösterilmiştir. Şekildeki gösterimde  $(x,y)$  ikilisi piksel konumu,  $A, B, C, D, i, j$  ve  $k$  ise piksel yoğunluk değerini temsil etmektedir.

Çift doğrusal aradeğerleme için kullanılan matematiksel hesaplama denklem 3.11 ile verilmiştir.

$$I = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} Q_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} Q_2 \quad (3.11)$$

$$x_1 \leq x \leq x_2$$



**Şekil 3.5 :** Çift doğrusal aradeğerleme.

Bu ifade  $I$  hesaplanacak yeni piksel yoğunluk değerini,  $x$  pikselin satır ya da sütun numarasını,  $x_1$  kendisinden önceki kaynak pikselin satır ya da sütun numarasını,  $x_2$  kendisinden sonraki pikselin satır ya da sütun numarasını ifade etmektedir. Yoğunluk değeri hesaplanacak olan pikselden önceki pikselin yoğunluk değeri  $Q_1$ , sonraki pikselin yoğunluk değeri  $Q_2$  olarak temsil edilmektedir.

### 3.4 Histogram Eşleme

Histogram, bir veri kümesindeki elemanların karşılaşılma sıklığını ifade eder. Bir görüntü için histogram, o görüntüdeki piksellerin alabileceği piksel yoğunluk değerlerinin o görüntü içinde kaçar adet olduğunu gösteren istatistiksel sonuçlar bütünüdür.

$l$  bir pozitif tamsayı olmak üzere  $2^l = L$  seviyeli tek bantlı bir görüntüdeki piksel yoğunluk değerlerinin dağılımı denklem 3.12 ile ifade edilmektedir [15].

$$h(r_k) = n_k \quad (3.12)$$

Bu ifadede  $r_k$ ,  $k$  'ncü piksel yoğunluk değerini,  $n_k$  ise bu değere sahip toplam piksel adedini ifade eder. Toplam piksel sayısı  $n$  olmak üzere,  $n_k$  ifadesinin  $n$  'ye bölünerek normalize edilmesiyle denklem 3.13 ile gösterilen olasılık fonksiyonu elde edilir. Bu olasılık fonksiyonu her bir piksel yoğunluk değerinin o görüntüdeki gerçekleşme olasılığını göstermekte olup tüm olasılıkların toplamının 1 'e eşit olduğu denklem 3.14 ile gösterilmiştir.

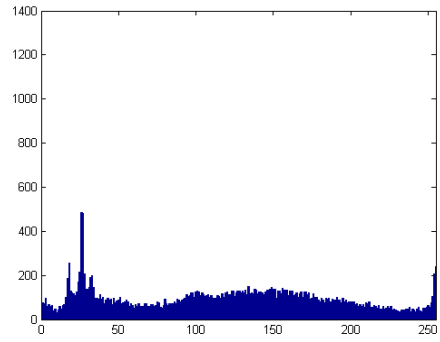
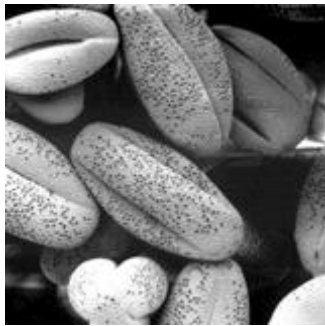
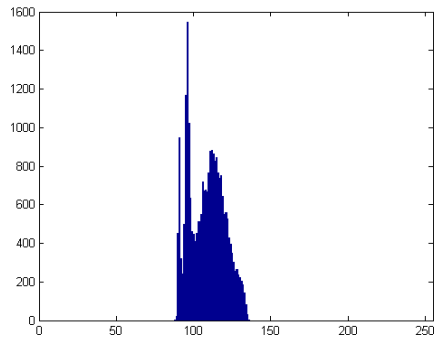
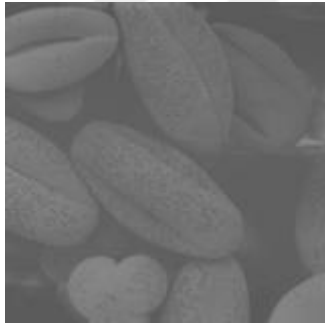
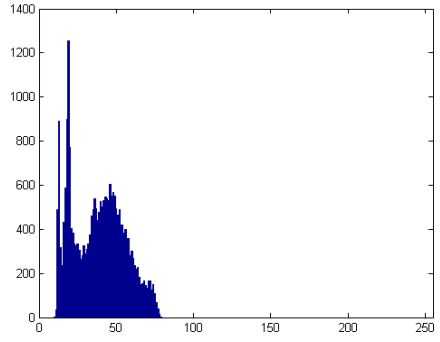
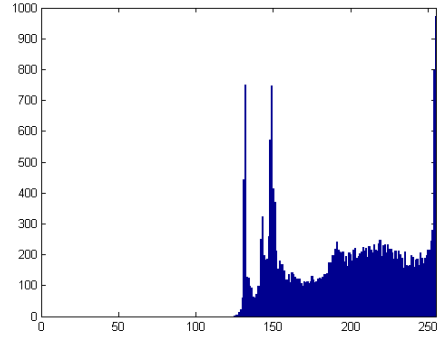
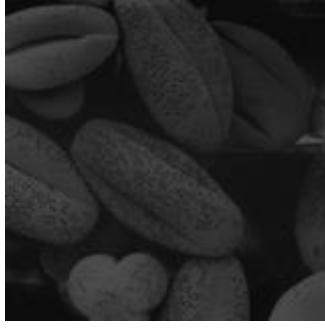
$$p(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k = 0, 1, \dots, L - 1 \quad (3.13)$$

$$\sum_{k=0}^{L-1} p(r_k) = \sum_{k=0}^{L-1} \frac{n_k}{n} = 1, \quad k = 0, 1, \dots, L - 1 \quad (3.14)$$

İdeal bir görüntünün histogram grafiğinde düz bir dağılım olması beklenir. Bir başka deyişle her bir piksel yoğunluk seviyesinin eşit sayıda olması beklenir. Histogram dağılımının belirli piksel yoğunluk seviyelerinde yüksek ya da düşük olması görüntü içindeki karanlık aydınlık dengesinin bozuk algılanmasına neden olur. Şekil 3.6'da farklı histogram dağılımlarının bir görüntüyü nasıl etkilediği gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü üzere bir görüntünün histogram dağılımının belirli bir bölgedeki yoğunluğu ya da azlığı o görüntünün görsel kalitesini düşürmektedir. Görüntünün kalitesini arttırmak için histogram eşleme (histogram matching) adı verilen bir yöntem uygulanır.

Histogram eşleme, bir görüntünün histogram dağılımındaki öbekleşmeyi gidererek daha düz bir histogram dağılımı yaratmak amacıyla uygulanan matematiksel bir takım işlemler bütünüdür. Kaynak bir görüntüye göre histogram eşleme işleminin matematiksel ifadesi, denklem 3.15 ile verilmiştir [19].



Şekil 3.6 : Farklı histogram dağılımları ile görüntüler.

$$I'_{PAN} = (I_{PAN} - \mu_{PAN}) \frac{\sigma_{MS_i}}{\sigma_{PAN}} + \mu_i \quad (3.15)$$

Bu ifadede  $I'_{PAN}$  histogram eşleme sonucu oluşan görüntüyü,  $I_{PAN}$  pankromatik görüntüyü,  $\mu_{PAN}$  pankromatik görüntünün ortalamasını,  $\mu_i$  multispektral görüntünün  $i$  'inci bandının ortalamasını,  $\sigma_{PAN}$  pankromatik görüntünün standart sapmasını ve  $\sigma_{MS_i}$  ise multispektral görüntünün  $i$  'inci bandının standart sapmasını ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında histogram eşleme, görüntü birleştirme öncesi pankromatik görüntünün multispektral görüntüyle ya da parlaklık görüntüsüyle eşlenmesinden kullanılmıştır. Pankromatik görüntü her bir multispektral bant için ayrı ayrı histogram eşlemeye maruz bırakılmıştır.

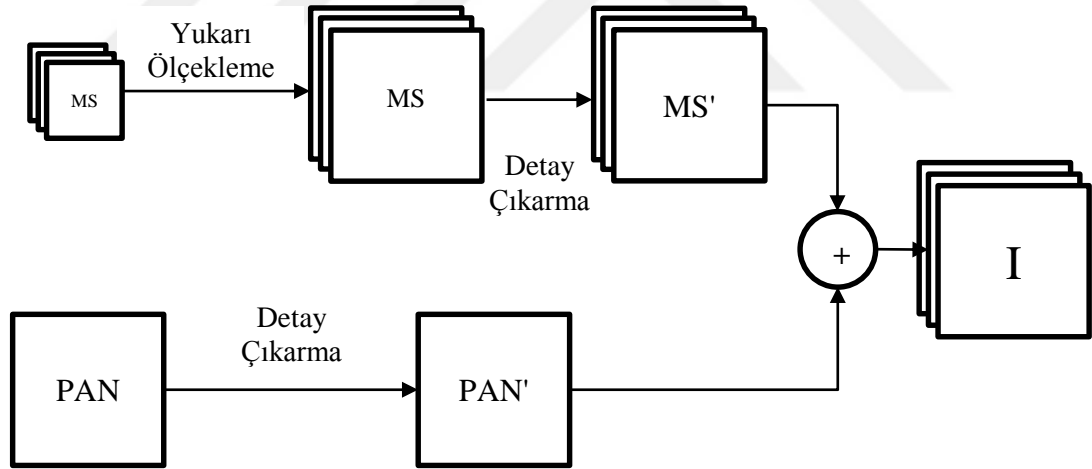
Esasen histogram eşleme görüntünün spektral bilgisini bozan bir işlemdir. Ancak bu çalışmada histogram eşleme pankromatik görüntüye uygulanmıştır. Böylece pankromatik görüntü, spektral bilginin daha yoğun olduğu multispektral görüntüyle daha uyumlu hale gelir ve pan keskinleştirmede daha kaliteli sonuçların elde edilmesini sağlar [19].

#### 4. PARALEL HESAPLAMALI GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

Görüntü birleştirme, bir bölgeye ait farklı özelliklere sahip görüntülerin çeşitli matematiksel işlemlere tabi tutulması ile tek bir görüntü elde edilmesidir. Hedef bölgeye ilişkin farklı bilgilere sahip görüntülerden çeşitli bilgiler çıkarılarak tek bir görüntüde birleştirilir. Böylece elde edilen birleştirilmiş görüntünün daha yüksek bilgi ve çözünürlüğe sahip olması hedeflenir.

##### 4.1 Temel Birleştirme Tasarımı

SPOT 6 uydusundan elde edilen pankromatik ve multispektral görüntülerin birleştirilerek pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilmesine ait temel tasarım şeması şekil 4.1 ile gösterilmiştir.



**Şekil 4.1 :** Temel görüntü birleştirme şeması.

Pankromatik ve multispektral görüntülerin birleştirilebilmesi için öncelikle bu görüntülerin aynı çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir. Pankromatik görüntünün dörtte bir çözünürlüğünde olan multispektral görüntü için öncelikli adım bu görüntünün dört kat yukarı ölçeklenerek pankromatik görüntü ile aynı çözünürlüğe çıkarılmasıdır. Ölçekleme işlemi multispektral görüntünün her bir bandı için tekrarlanır. Ardından multispektral ve pankromatik görüntülerden istenilen detaylar çıkartılarak birleştirilir ve I görüntüsü elde edilir. Detay çıkartma ve birleştirme işlemi

multispektral görüntünün her bandı için tekrarlanır. Elde edilen  $I$  görüntüsüne keskinleştirilmiş görüntü adı verilir.

Bu şemada her bir bant için uygulanan işlemler ve birbirinden bağımsız ilerleyen akışlar, farklı iş parçacıkları tarafından yürütülerek ve gerektiğinde diğer iş parçacığını bekleyerek hesaplamalar paralelleştirilmiştir.

## 4.2 Görüntü Birleştirme Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında beş farklı gruptan yedi farklı görüntü birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan görüntü işleme yöntemleri ve bu yöntemler ile geliştirilen paralel programlanmış görüntü birleştirme algoritmaları alttaki bölümlerde anlatılmıştır.

### 4.2.1 Brovey dönüşümü ile birleştirme

Modülasyon tabanlı yöntemlerden biri olan Brovey dönüşümü oldukça basit yapılı bir dönüşümdür. Bu dönüşüm modelinde multispektral görüntünün parlaklık bilgisi ile pankromatik görüntü modüle edilir ve ardından multispektral görüntüye uygulanır [20].

Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirmeye ait blok diyagramı şekil 4.2 ve şekil 4.3 ile gösterilmiştir. Şekil 4.2’de multispektral görüntüden denklem 4.1 kullanılarak parlaklık görüntüsü  $I$  elde edilir.

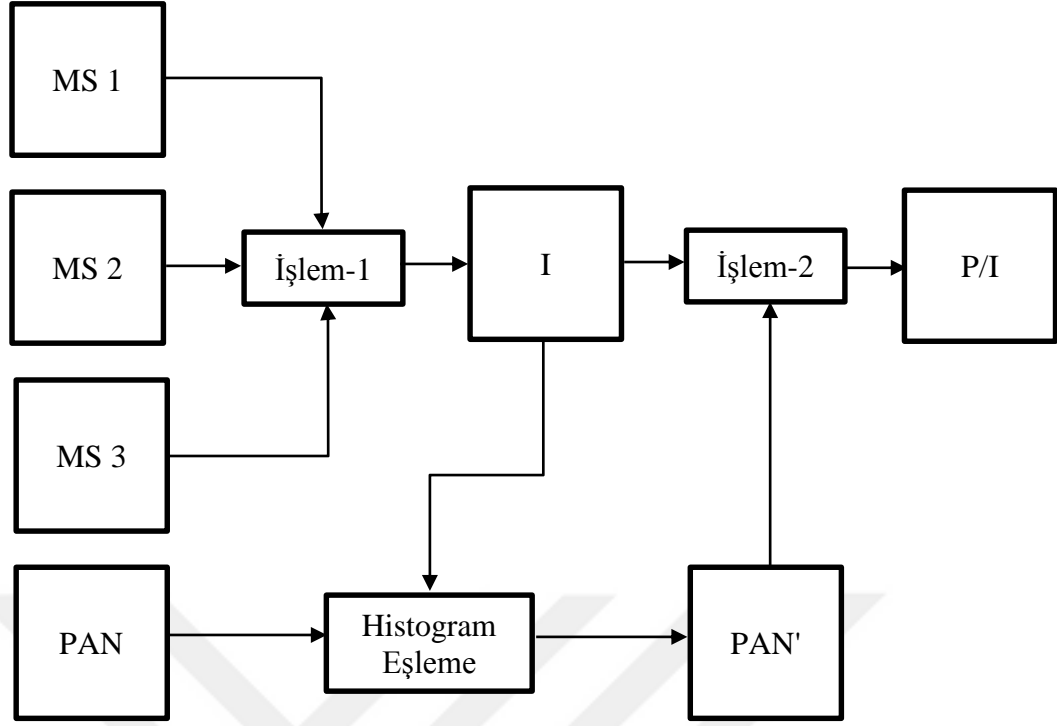
$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n MS_i \quad (4.1)$$

Bu ifadede  $n$  bant sayısını,  $MS_i$  ise multispektral görüntünün  $i$  ‘inci bandını ifade etmektedir. Elde edilen  $I$  parlaklık görüntüsü ile pankromatik görüntüye histogram eşleme işlemi uygulanır. Parlaklık görüntüsü, histogram eşlenmiş pankromatik görüntü ile modüle edilerek  $P/I$  görüntüsü elde edilir.

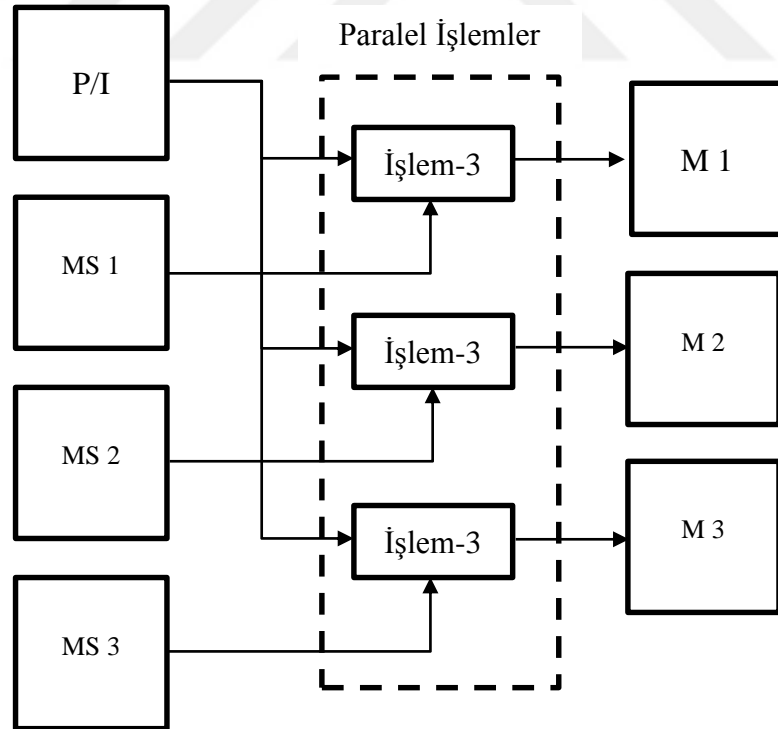
Şekil 4.3’de ise denklem 4.2 kullanılarak multispektral görüntünün her bir bandı,  $P/I$  görüntüsü ile çarpım işlemine uğratarak pan keskinleştirilmiş  $M$  görüntüsünün bantları elde edilir.

$$M_i = MS_i \frac{P}{I} \quad (4.2)$$





Şekil 4.2 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme (1. kısım).



Şekil 4.3 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme (2. kısım).

Brovey dönüşümü ile pan keskinleştirilmiş görüntü eldesi oldukça basit matematik işlemleri olan ve kısıtlı bant tabanlı paralelleştirme olanağı sunan bir yöntemdir. Bu

nedenden dolayı paralel programlama ile hesaplama sürelerinde test bilgisayarı ile yapılan ölçümlere göre %1,5 ile %3 arasında değişen bir iyileşme sağlanmıştır.

#### 4.2.2 IHS dönüşümü ile birleştirme

Bileşen değişimi yöntemleri içinde yer alan ve aslında renk uzayı dönüşümlerinden biri olan IHS (Intensity Hue Saturation) dönüşümü, uzaktan algılama uygulamalarında da sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Denklem 4.3a ile IHS renk dönüşümü, denklem 4.3b ile ise IHS ters renk dönüşümü gösterilmiştir [21].

$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{2\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} MS_1 \\ MS_2 \\ MS_3 \end{bmatrix} \quad (4.3a)$$

$$\begin{bmatrix} MS_1 \\ MS_2 \\ MS_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (4.3b)$$

$$\begin{aligned} v_1 &= S \cos(H) \\ v_2 &= S \sin(H) \end{aligned} \quad (4.3c)$$

Bu ifadelerde  $MS_1$ ,  $MS_2$  ve  $MS_3$  multispektral görüntünün bantlarını,  $I$  görüntünün parlaklık bilgisini,  $v_1$  ve  $v_2$  IHS renk uzayındaki parlaklık eksenine ve birbirine dik eksenleri,  $S$  görüntünün doygunluk bilgisini ve  $H$  ise görüntünün renk özü bilgisini içeren değişkenlerdir.

IHS dönüşümü ile pan keskinleştirme, denklem 4.3b 'deki  $I$  parlaklık görüntüsü ile pankromatik görüntünün değiştirilmesi ile denklem 4.4 'deki ifade elde edilir.

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PAN_{hm} \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme yönteminde kullanılan işlemlerin hesaplama maliyetlerinin düşürülmesi için dönüşüm formüllerinde bazı matematiksel değişiklikler yapılabilir.

Denklem 4.4 'teki  $PAN_{hm}$  ifadesine denklem 4.5 'deki gibi  $I$  parlaklık görüntüsünün eklenip çıkarılması sonucu değiştirmez.

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PAN_{hm} + I - I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5 ifade tekrar düzenlendiğinde denklem 4.6 ifadesi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \left[ \begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} PAN_{hm} - I \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right] \quad (4.6)$$

Bu ifadede yer alan katsayı matrisi işlemleri gerçekleştirilip, denklem 4.3b 'de yer alan ters dönüşüm ifadesi ile denklem yeniden düzenlendiğinde, denklem 4.7 ile ifade edilen IHS ile pan keskinleştirme denklemi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MS_1 \\ MS_2 \\ MS_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} PAN_{hm} - I \\ PAN_{hm} - I \\ PAN_{hm} - I \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

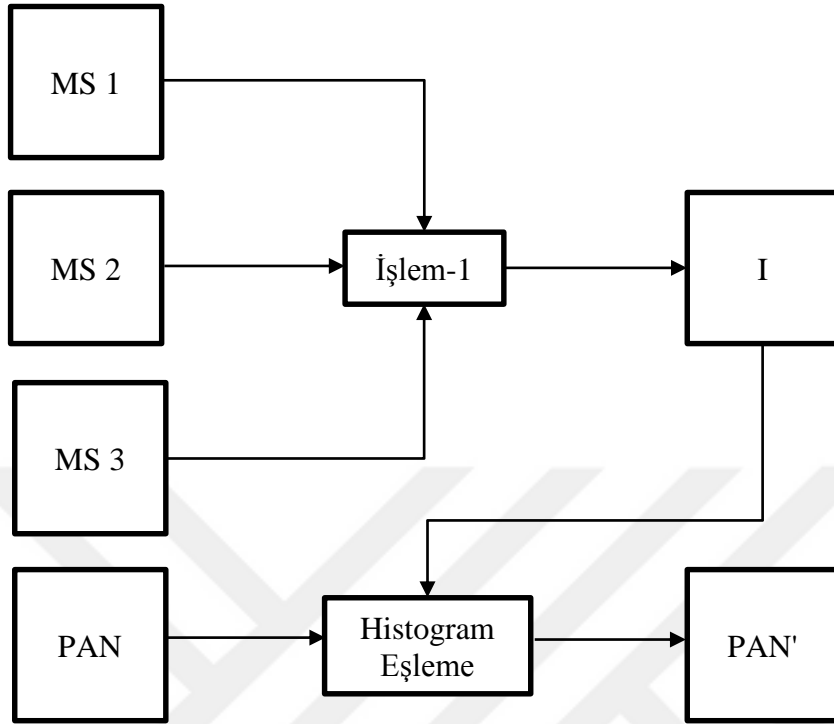
$$I = \frac{1}{3} (MS_1 + MS_2 + MS_3)$$

Bu ifadede  $M_1$ ,  $M_2$  ve  $M_3$  pan keskinleştirilmiş görüntünün bantlarını,  $MS_1$ ,  $MS_2$  ve  $MS_3$  multispektral görüntünün bantlarını,  $I$  multispektral görüntünün parlaklık görüntüsünü ve  $PAN_{hm}$  ise parlaklık görüntüsü ile histogram eşlenmiş pankromatik görüntüyü ifade etmektedir.

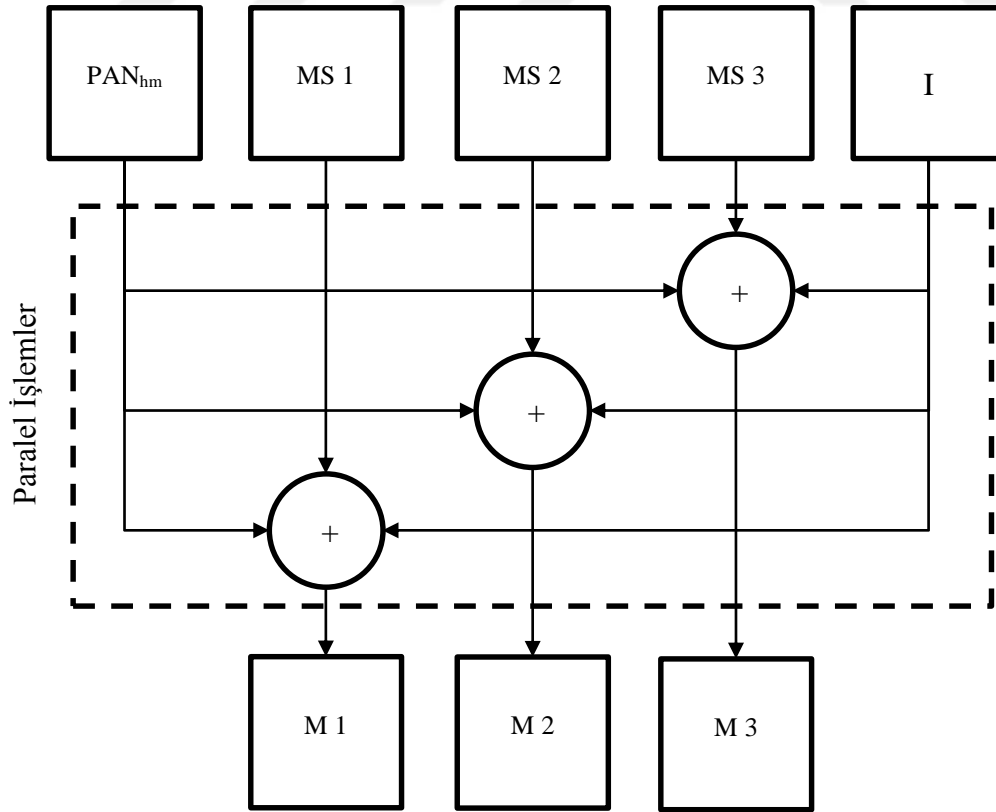
Elde edilen sadeleştirilmiş pan keskinleştirme denklemi ve paralel programlama kullanılarak oluşturulan blok diyagram şekil 4.4 ve şekil 4.5 ile gösterilmiştir. IHS ile görüntü birleştirme algoritmasında öncelikle multispektral görüntülerin işlem-1 adımında ortalaması alınarak multispektral görüntünün parlaklık görüntüsü elde edilir. Elde edilen parlaklık görüntüsüyle pankromatik görüntüye histogram eşleme uygulanır ve histogram eşlenmiş pankromatik görüntü elde edilir.

Şekil 4.5 ile gösterildiği şekilde histogram eşlenmiş pankromatik görüntüden parlaklık bilgisi çıkarılarak elde edilen görüntü, multispektral görüntünün her bir bandıyla toplanır. Bu adımlar birbirinden bağımsız işlemler olduğu için paralel olarak

gerçekleştirilir. Paralel iş parçacıkları tamamlandıktan sonra elde edilen görüntüler, pan keskinleştirilmiş görüntünün bantlarıdır.



Şekil 4.4 : IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme (1. kısım).



Şekil 4.5 : IHS ile görüntü birleştirme (2. kısım)

IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme uzaktan algılama uygulamalarında çok sık kullanılan başarılı yöntemlerden biridir. Bu tez kapsamında IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme işlemlerinin daha hızlı yapılabilmesi için öncelikle matematiksel işlemler sadeleştirilerek denklem 4.7 'deki ifade elde edilmiştir. Ardından bant bazlı paralelleştirme yapılarak şekil 4.5'deki işlemler paralelleştirilmiştir. Bant tabanlı bağımsız yapılabilen iş parçacıklarının azlığı nedeniyle kısmen kısıtlı bir paralelleştirme uygulanmıştır. Bundan dolayı paralel programlama ile hesaplama sürelerinde test bilgisayarı ile yapılan ölçümlere göre %5 ile %7 arasında değişen oldukça kısıtlı bir iyileşme sağlanmıştır.

### 4.2.3 CIE L\*a\*b\* dönüşümü ile birleştirme

Bileşen değişimi yöntemlerinden olan CIE L\*a\*b\* dönüşümü de IHS dönüşümü gibi bir renk uzayı dönüşümüdür. CIE XYZ dönüşümünden türetilen bu dönüşüm ile  $L$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  olmak üzere üç eksenli bir renk uzayı elde edilir. Görüntünün aydınlık bilgisi  $L$  ile ifade edilirken  $a^*$ , görüntünün kırmızı ile yeşil renkleri arasındaki değerini,  $b^*$  ise görüntünün sarı ile mavi arasındaki değerini belirtir [22].  $L$  parlaklık değişkeni sıfırdan yüze kadar değer alabilirken  $a^*$  ve  $b^*$  değişkenleri pozitif ya da negatif değerler alabilirler. Şekil 4.6 ile CIE L\*a\*b\* renk uzayı temsil edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan SPOT multispektral görüntüsü kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere üç banttan oluşan RGB (Red Green Blue) renk uzayında bir görüntüdür. RGB renk uzayındaki bir görüntü doğrudan CIE L\*a\*b\* uzayına dönüştürülemez. RGB görüntüsü öncelikle CIE XYZ renk uzayına dönüştürülür, ardından elde edilen görüntü CIE L\*a\*b\* uzayına dönüştürülür. CIE L\*a\*b\* uzayından RGB uzayına dönüştürmede de benzer şekilde CIE XYZ dönüşümü ara dönüşüm olarak kullanılır.

RGB ve CIE XYZ renk uzayları arasındaki dönüşüm formülleri denklem 4.8a ve 4.8b ile, CIE XYZ ve CIE L\*a\*b\* renk uzayları arasındaki dönüşüm formülleri ise denklem 4.9a ve 4.9b ile ifade edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,412453 & 0,357580 & 0,180423 \\ 0,212671 & 0,715160 & 0,072169 \\ 0,019334 & 0,119193 & 0,950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.8a)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,240479 & -1,537150 & -0,498535 \\ -0,969256 & 1,875992 & 0,041556 \\ 0,055648 & -0,204043 & 1,057311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4.8b)$$

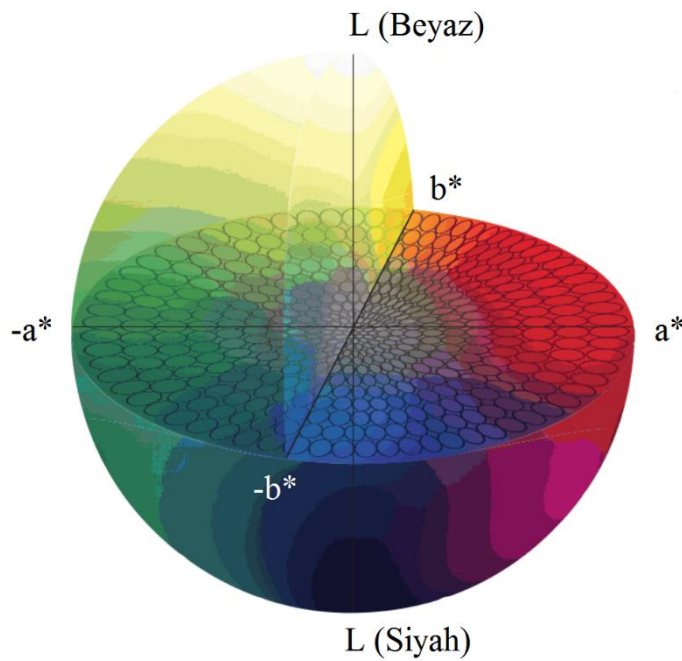
$$L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$a^* = 500 \left( f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right) \quad (4.9a)$$

$$b^* = 200 \left( f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right)$$

$$f(\omega) = \begin{cases} \sqrt[3]{\omega}, & \omega < 0,008856 \\ 7,787\omega + \frac{16}{116}, & \omega \geq 0,008856 \end{cases} \quad (4.9b)$$

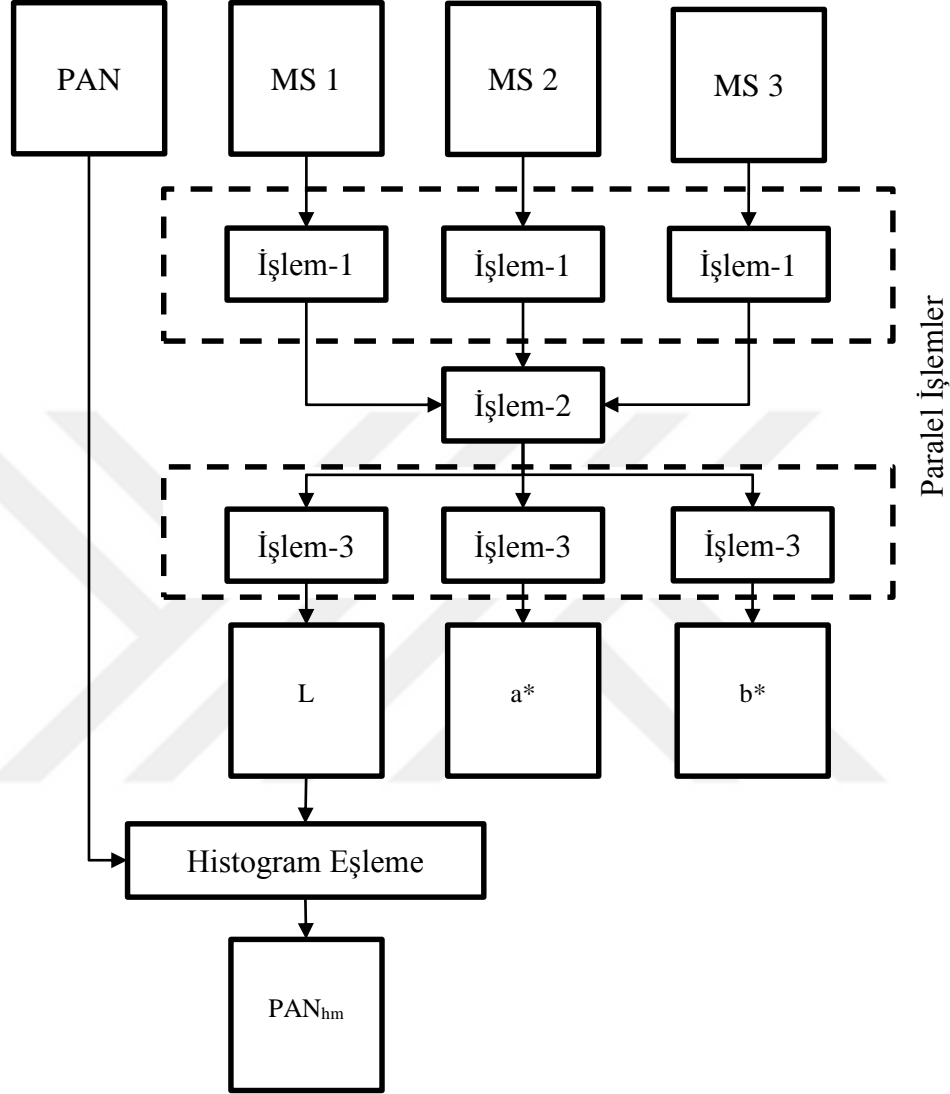
Bu ifadelerde yer alan  $X_n$ ,  $Y_n$  ve  $Z_n$  değişkenleri parlaklık referans değerlerini ifade etmekte olup bu çalışma kapsamında CIE D65 referans değerleri kullanılmıştır.



**Şekil 4.6 :** CIE  $L^*a^*b^*$  renk uzayı.

CIE  $L^*a^*b^*$  dönüşümü ile paralel programlamalı görüntü birleştirme için geliştirilen algoritmaya ait blok şema şekil 4.7 ve şekil 4.8 ile gösterilmiştir. CIE  $L^*a^*b^*$  ile paralel programlamalı görüntü birleştirme algoritmasına multispektral görüntünün normalize edilmesi ile başlanır. 12 bit görüntü kodlamasına sahip olan multispektral görüntünün her bir bandı işlem-1 ile gösterilen adımda  $2^{12}$  ile bölünerek normalize edilir. Elde edilen normalize görüntüler işlem-2 'de denklem 4.8a ile verilen katsayı matrisi ile çarpılarak  $X, Y$  ve  $Z$  görüntüleri elde edilir. Arından denklem 4.9 'daki formül kullanılarak işlem-3 'de  $X, Y$  ve  $Z$  görüntülerinden  $L, a^*$  ve  $b^*$  görüntüleri elde edilir. Parlaklığı ifade eden  $L$  görüntüsü pankromatik görüntünün histogram

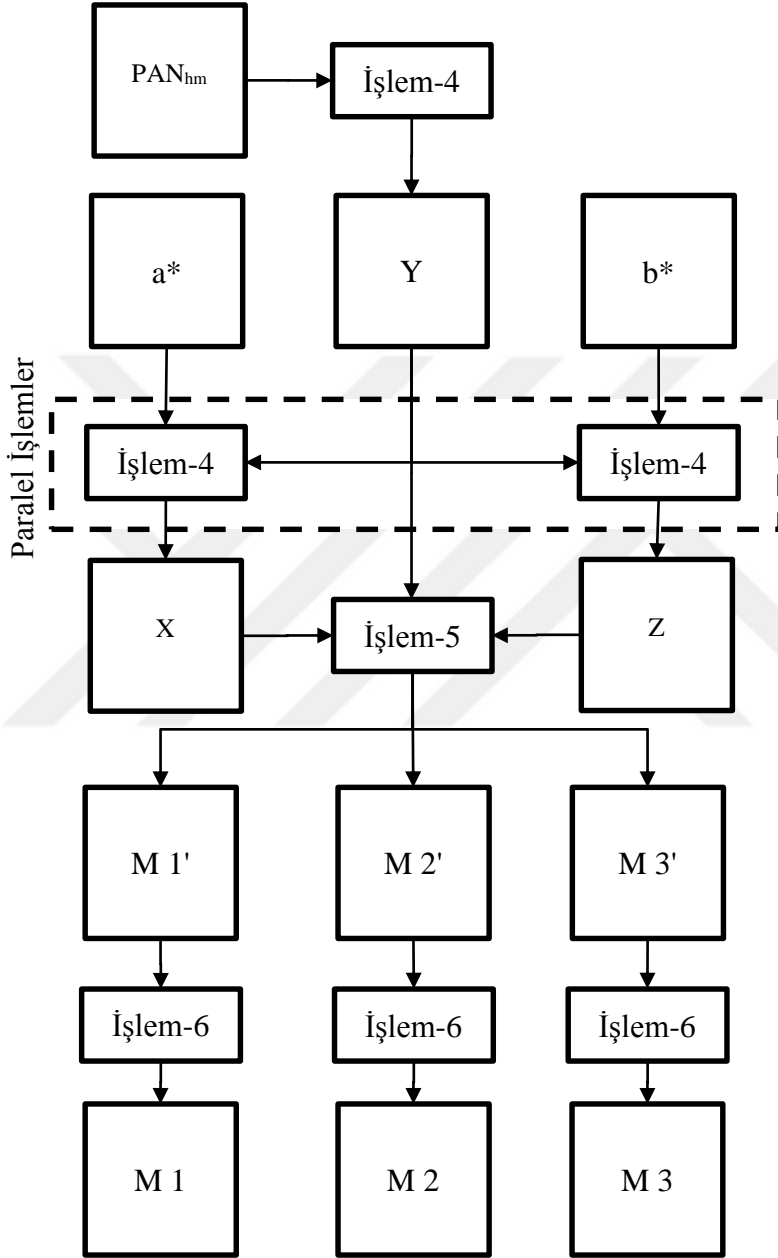
eşlenmesinde kullanır ve histogram eşlenmiş pankromatik görüntü elde edilir. İşlem-1 ve işlem-3 ile gösterilen işlemler bant tabanlı birbirinden bağımsız işler olduğu için bu hesaplamalar paralel olarak hesaplanmıştır



**Şekil 4.7 :** CIE  $L^*a^*b^*$  ile görüntü birleştirme (1. kısım).

Histogram eşlenmiş pankromatik görüntü, L aydınlık bilgisi ile değiştirilerek işlem-4 ile gösterilen ters CIE  $L^*a^*b^*$  dönüşümüne sokulur ve Y görüntüsü elde edilir. Ardından  $a^*$  ve  $b^*$  görüntüleri de işlem-4 ile gösterilen ters CIE XYZ dönüşümüne sokularak X ve Z görüntüleri elde edilir. X, Y ve Z görüntüleri, işlem-5 ile ifade edilen ve denklem 4.8b 'de matematiksel formülü verilen ters XYZ dönüşümüne sokulur ve böylece normalize pan keskinleştirilmiş görüntünün bantları elde edilir. Son olarak normalize görüntü, yeniden 12 bit olarak kodlanarak pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

CIE  $L^*a^*b^*$  dönüşümü bant tabanlı paralelleştirme açısından kısıtlı imkân sunmaktadır. Kısıtlı paralelleştirme yapılabilmesine rağmen paralel programlama ile hesaplama sürelerinde test bilgisayarı ile yapılan ölçümlere göre %20 civarında iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 4.8 : CIE  $L^*a^*b^*$  ile görüntü birleştirme (2. kısım).

#### 4.2.4 HFM ile birleştirme

Çoklu çözünürlük yöntemlerinden olan HFM (High frequency modulation) ile görüntü birleştirme oldukça basit bir görüntü birleştirme yöntemidir. Görüntülerin frekans uzayında analizine dayanan HFM, pankromatik görüntüden çıkarılan detay bilgisinin



multispektral görüntü ile çarpılmasına dayanır [23]. Bu yöntem ile pan keskinleştirilmiş görüntü eldesinin matematiksel gösterimi denklem 4.10a ile ifade edilmiştir.

$$M_i = MS_i \frac{PAN}{P_{LPF}} \quad (4.10a)$$

$$P_{LPF} = PAN * H_{LPF} \quad (4.10b)$$

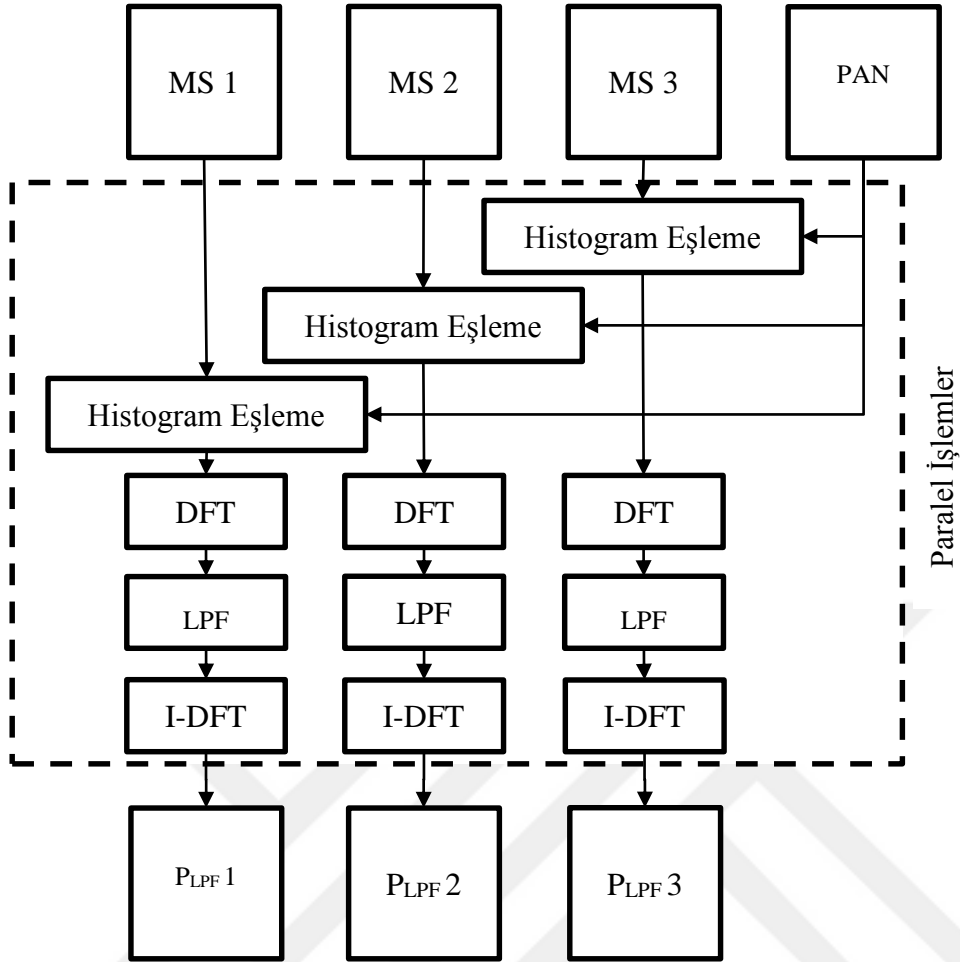
Bu ifadelerde  $H_{LPF}$  alçak geçiren süzgeci,  $PAN$  pankromatik görüntüyü,  $MS_i$  multispektral görüntünün  $i$  'inci bandını,  $M_i$  ise pan keskinleştirilmiş görüntünün  $i$  'inci bandını temsil etmektedir.

HFM ile paralel programlamalı görüntü birleştirmeye ilişkin geliştirilen algoritmanın blok diyagramı şekil 4.9 ve şekil 4.10 ile gösterilmiştir.

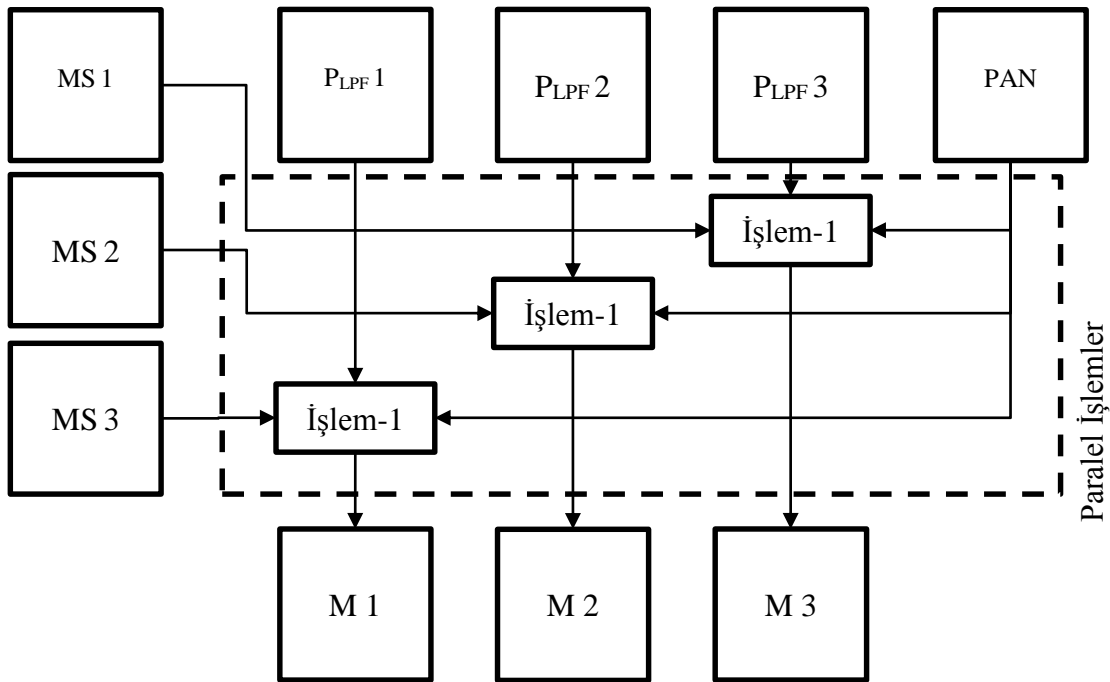
Şekil 4.9'da görüldüğü üzere işlemler pankromatik görüntünün, multispektral görüntünün her bir bandıyla histogram eşleme yapılmasıyla başlar. Elde edilen histogram eşlenmiş pankromatik görüntülere ayrık Fourier dönüşümü uygulanarak frekans karakteristiği ortaya çıkarılır. Düşük frekans bileşenlerinin elde edilmesi amacıyla histogram eşlenmiş pankromatik görüntüler denklem 4.10b 'de gösterildiği gibi alçak geçiren süzgeçten geçirildikten sonra ters ayrık Fourier dönüşümüne sokularak her bir bant için  $P_{LPF}$  olarak ifade edilen pankromatik görüntüler elde edilir.

Elde edilen  $P_{LPF}$  görüntüleri,  $PAN$  pankromatik görüntü ve  $MS$  multispektral görüntüleri şekil 4.10'da işlem-1 olarak ifade edilen denklem 4.10a 'daki matematiksel işleme sokulur. Denklem 4.10a 'daki  $PAN / P_{LPF}$  işlemi ile pankromatik görüntünün keskinlik bilgisi elde edilir. Ardından bu bilgi multispektral görüntüye uygulandığında  $M$  pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

Şekilde 4.9 ve şekil 4.10'da kesikli dikdörtgen içerisinde gösterilen işlemler bant tabanlı paralel çalışan iş parçacıklarıdır. HFM ile paralel görüntü birleştirme algoritması oldukça yüksek paralelleştirme düzeyine sahiptir. Ayrıca bu çalışmada bölüm 3.2 'de yer verilen farklı tipteki fourier süzgeçleri kullanılarak süzgeç tiplerinin hem görüntü birleştirme kalitesine hem de hesaplama sürelerine etkisi analiz edilmiştir. HFM ile paralel programlamalı görüntü birleştirmede test bilgisayarı ile yapılan ölçümlere göre hesaplama sürelerinde %23 ile %33 arasında değişen bir iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 4.9 : HFM ile görüntü birleştirme (1. kısım).



Şekil 4.10 : HFM ile görüntü birleştirme (2. kısım).

#### 4.2.5 DFT ile görüntü birleştirme

Frekans uzayı analizi yöntemlerinden olan ayırık Fourier dönüşümü ile görüntü birleştirme, pankromatik ve multispektral görüntülerin frekans uzayı bileşenlerinin süzgeçten geçilerek birleştirilmesi ile pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilmesidir. Bu birleştirmeye ilişkin matematiksel ifade denklem 4.11 ile ifade edilmiştir [24].

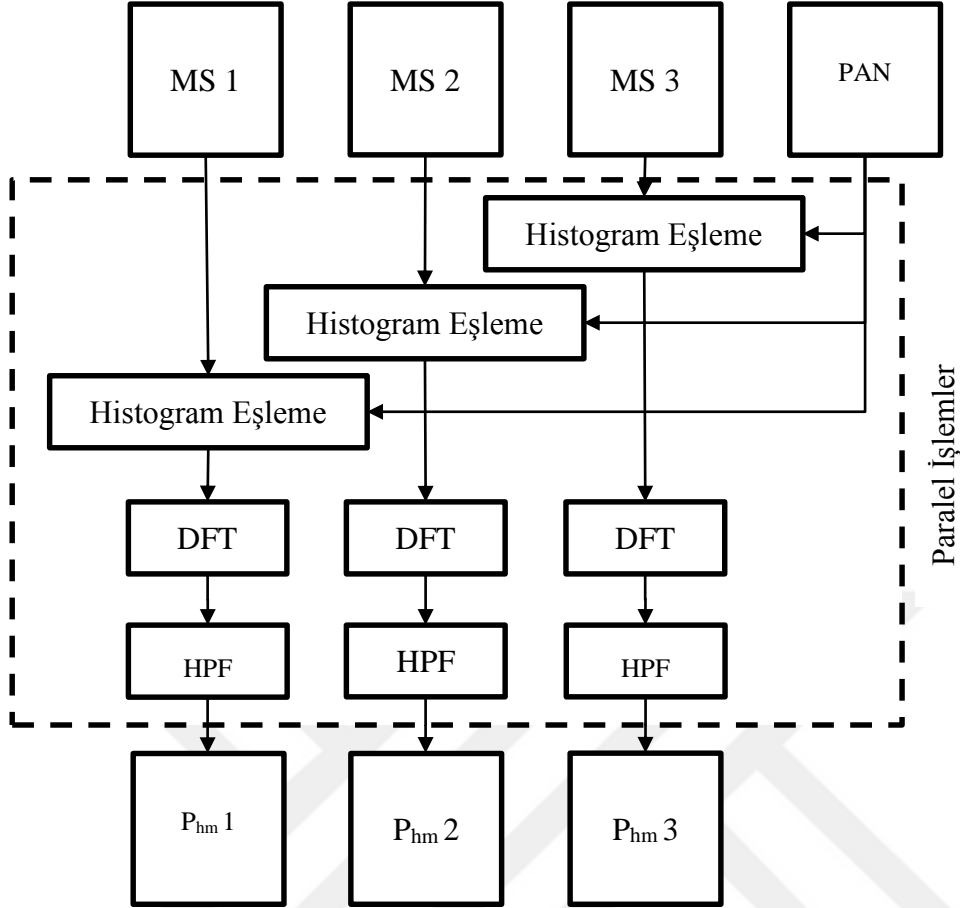
$$M_i = DFT^{-1}\{ LPF\{ DFT( MS_i ) \} + HPF\{ DFT( PAN ) \} \} \quad (4.11)$$

Bu ifadede PAN pankromatik görüntüyü,  $MS_i$  multispektral görüntünün  $i$  'inci bandını,  $M_i$  pan keskinleştirilmiş görüntünün  $i$  'inci bandını temsil ederken,  $DFT$  ve  $DFT^{-1}$  düz ve ters ayırık Fourier dönüşümünü,  $HPF$  yüksek geçiren süzgeci,  $LPF$  ise alçak geçiren süzgeci ifade etmektedir.

Pankromatik ve multispektral görüntülerin frekans karakteristikleri incelendiğinde keskinlik ve detay bilgisinin yüksek frekans bileşenlerinde, yüzeysel bilgi yoğunluğunun ise düşük frekans bileşenlerinde yoğunlaştığı görülür. Bu doğrultuda pankromatik görüntünün yüksek frekans bileşenleri, multispektral görüntünün ise düşük frekans bileşenleri görüntü birleştirme açısından önem arz eder. Denklem 4.11 'de görüldüğü üzere DFT ile görüntü birleştirme uygulamasında pankromatik görüntü yüksek geçiren, multispektral görüntü ise alçak geçiren süzgeçten geçirilerek elde edilen görüntüler toplanır. Bu birleştirme modelinde süzgeçleme kaynaklı herhangi bir bilgi kaybı olmaması için alçak ve yüksek geçiren süzgeçlerin birbirini tamamlayıcı özellikte olması gerekmektedir. Bu tamamlayıcı özelliğin sağlanması için alçak ve yüksek geçiren süzgeç çiftleri denklem 4.12 ile ifade edilen şekilde elde edilmiştir.

$$HPF = 1 - LPF \quad (4.12)$$

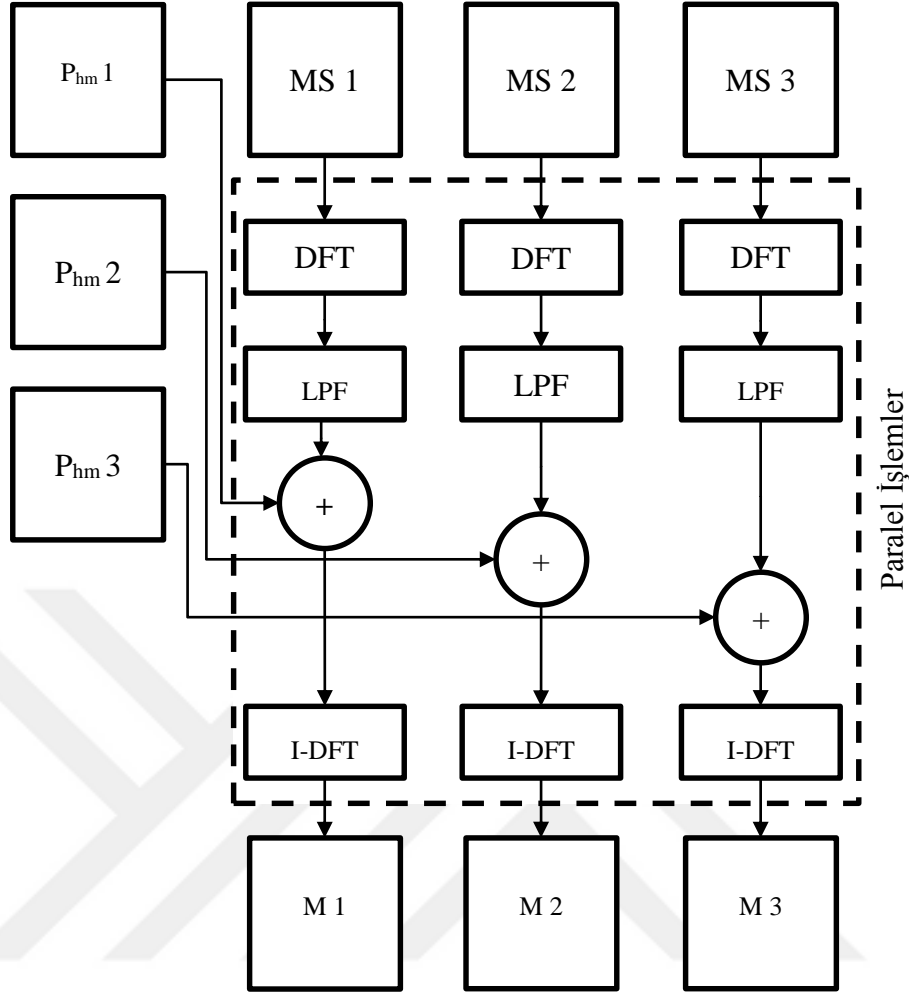
DFT ile paralel programlamalı görüntü birleştirmeye ilişkin geliştirilen algoritma şekil 4.11 ve şekil 4.12 ile gösterilmiştir. Bu algoritma, pankromatik görüntülerin multispektral görüntünün her bir bandıyla histogram eşleme işlemine sokulmasıyla başlar. Her bant için ayrı ayrı elde edilen histogram eşlenmiş pankromatik görüntülere iki boyutlu ayırık Fourier dönüşü uygulanarak frekans uzayı bileşenleri elde edilir. Frekans uzayındaki histogram eşlenmiş pankromatik görüntülerden mekansal bilgiyi elde etmek için yüksek geçiren süzgeç kullanılarak yüksek frekans bileşenleri süzülür. Böylece bu görüntülerden detay bilgisi çıkarılarak frekans uzayında histogram eşlenmiş  $P_{hm}$  görüntüleri elde edilir.



**Şekil 4.11** : DFT ile görüntü birleştirme (1. kısım).

Şekil 4.12’de multispektral görüntünün her bir bandı iki boyutlu ayrık Fourier dönüşümüne sokularak frekans uzayı bileşenleri elde edilir. Alçak geçiren süzgeç kullanılarak multispektral görüntü bantlarından yüzey bilgisi elde edilir. Bu aşamaya kadar gerçekleşen bant tabanlı tüm işlemler birbirinden bağımsız ve paralel olarak hesaplanmaktadır. Son aşamada ise histogram eşlenmiş pankromatik görüntülerden süzülen yüksek frekans bileşenleri ile multispektral görüntülerden süzülen alçak frekans bileşenleri toplanarak ters ayrık Fourier dönüşümüne sokulur. Böylece pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

Ayrık Fourier dönüşümü ile görüntü birleştirme uygulamasında farklı süzgeç tipleri kullanılarak uygulama zenginleştirilmiştir. Yapılan testlerde kullanılan süzgeç tiplerinin pan keskinleştirilmiş görüntü kalitesine ve hesaplama sürelerine etkisi analiz edilmiştir. DFT ile görüntü birleştirme, bant tabanlı paralelleştirmeye son derece uyumlu bir algoritmadır. Test bilgisayarı ile yapılan ölçümlere göre DFT ile paralel programlamalı görüntü birleştirme hesaplama sürelerinde %25 ile %35 arasında değişen bir iyileşme sağlanmıştır.



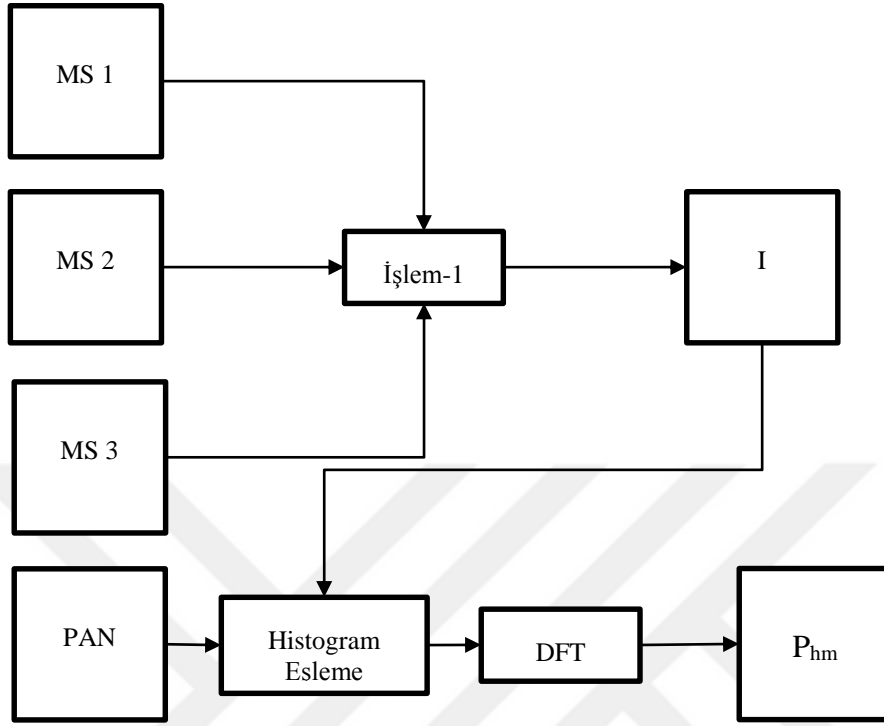
Şekil 4.12 : DFT ile görüntü birleştirme (2. kısım)

#### 4.2.6 DFT ve IHS dönüşümlü karma yöntem ile birleştirme

Bu çalışma kapsamında kullanılan karma yöntemlerden ilki olan DFT ve IHS dönüşümlü karma yöntem, IHS dönüşümü ile elde edilen bileşenlerin frekans analizi ile birleştirilmesine dayanan bir görüntü birleştirme yöntemidir [14]. Bu yönteme ait paralel programlamalı görüntü birleştirme algoritmasının blok diyagramı şekil 4.13 ve şekil 4.14 ile gösterilmiştir.

DFT ve IHS dönüşümlü karma yöntem ile paralel programlamalı görüntü birleştirme işlemine multispektral görüntüden parlaklık görüntüsünün çıkarılması ile başlanır. Bölüm 4.2.2 'de, denklem 4.7 'deki sadeleştirilmiş IHS dönüşümü formülünden yararlanılarak Şekil 4.13 'de işlem-1 ile gösterilen blokta multispektral görüntülerin ortalamaları alınır ve  $I$  parlaklık görüntüsü çıkarılır. Parlaklık görüntüsü pankromatik görüntünün histogram eşlemesinde kullanılır. Histogram eşlenmiş pankromatik

görüntünün şekil 4.13 'de gösterildiği gibi iki boyutlu ayrık Fourier dönüşü alınarak  $P_{hm}$  görüntüsü elde edilir.

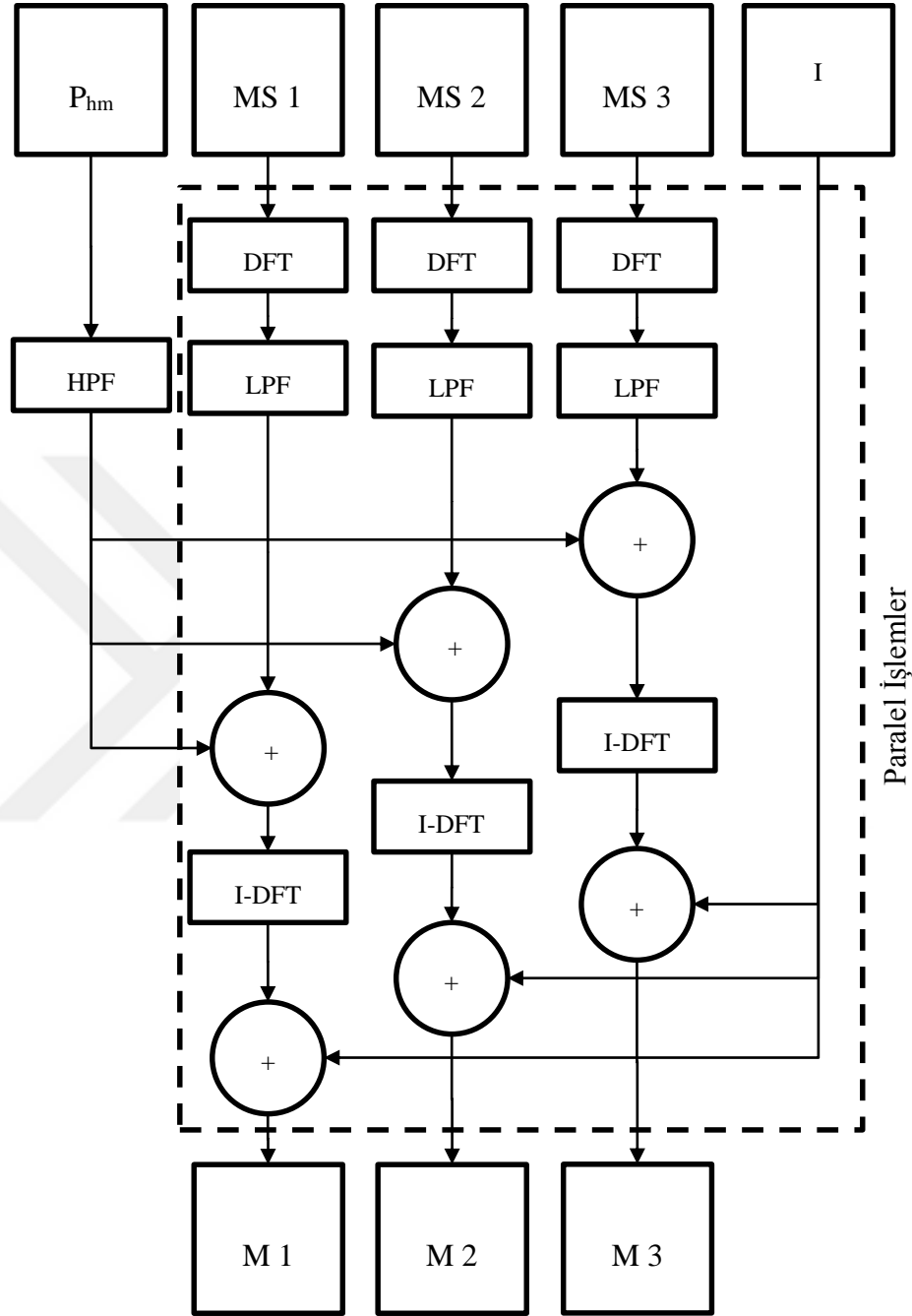


**Şekil 4.13 :** DFT ve IHS dönüşümlü karma yöntem (1. kısım).

Parlaklık görüntüsü eldesi ve histogram eşleme işlerinden bağımsız olarak multispektral görüntülerin iki boyutlu Fourier dönüşümü ve alçak geçiren süzgeçten geçirilmesi işlemleri bant tabanlı paralel olarak gerçekleştirilir. Frekans uzayındaki histogram eşlenmiş pankromatik  $P_{hm}$  görüntüsü, yüksek geçiren süzgeçten geçirilerek frekans uzayındaki alçak geçiren süzgeçten geçirilmiş multispektral görüntü bantları ile birleştirilir. Böylece detay bilgisi içeren pankromatik görüntünün yüksek frekans bileşenleri ile yüzey bilgisi içeren multispektral görüntünün alçak frekans bileşenleri bir araya getirilmiş olur. Elde edilen bu görüntüler iki boyutlu ters Fourier dönüşümüne sokulduktan sonra bölüm 4.2.2 'deki denklem 4.7 'deki sadeleştirilmiş IHS dönüşümlü pan keskinleştirme formülünden yararlanılarak pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

IHS dönüşümünün frekans uzayı analizi ile birleştirilip farklı yerel Fourier süzgeçleri ile zenginleştirilmesi ile oldukça başarılı pan keskinleştirilmiş görüntüler elde edilmiştir. Bu yöntem bant tabanlı paralelleştirme açısından da geliştirmeye uygun bir yöntemdir. Test bilgisayarı ile yapılan DFT ve IHS dönüşümlü paralel programlamalı

görüntü birleştirme uygulamasında hesaplama sürelerinde %17 'lere varan iyileşme sağlanmıştır.

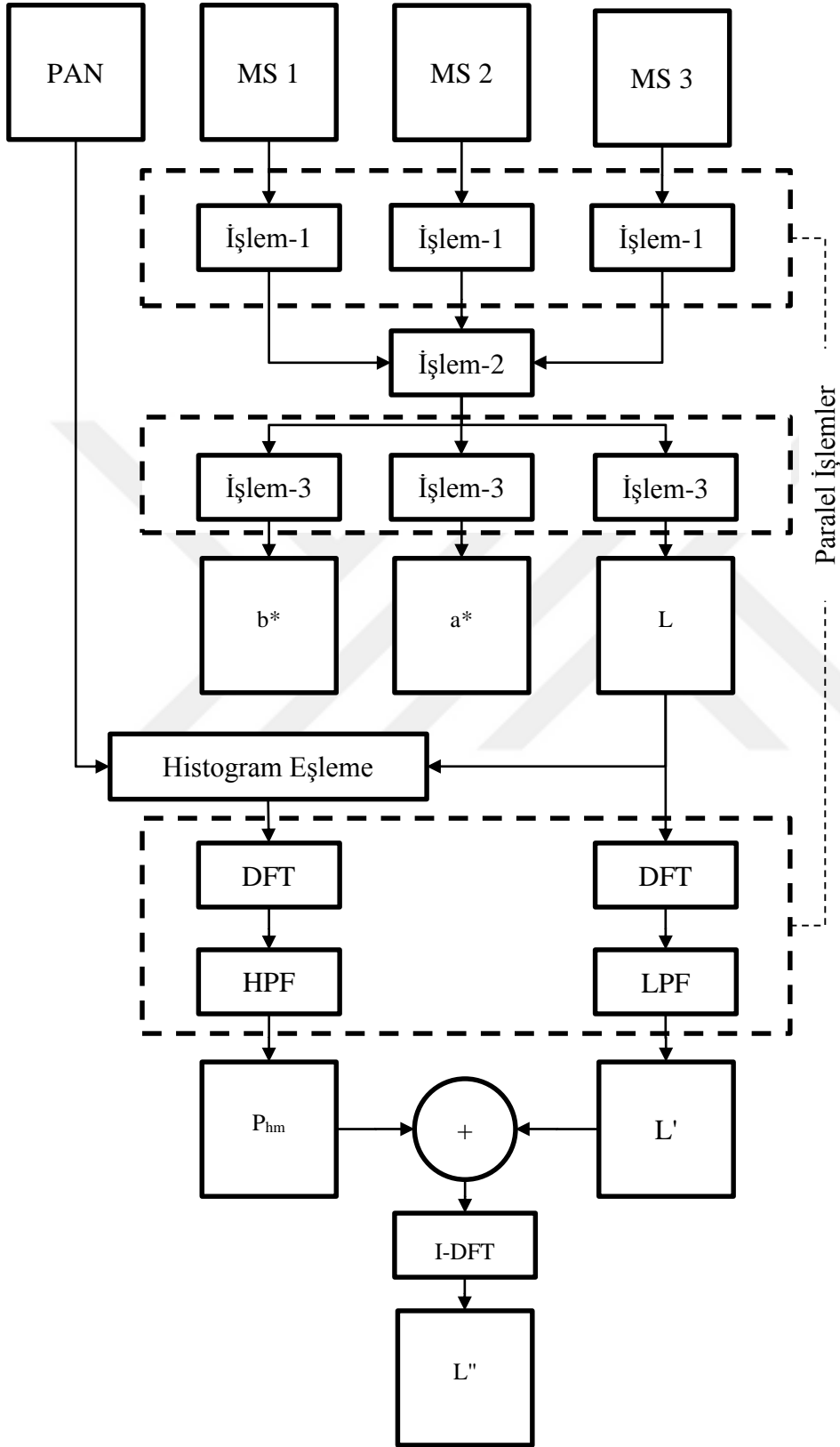


Şekil 4.14 : DFT ve HIS dönüşümlü karma yöntem (2. kısım).

#### 4.2.7 DFT ve $L^*a^*b^*$ dönüşümlü karma yöntem ile birleştirme

Bu çalışma kapsamında kullanılan karma yöntemlerden ikincisi olan DFT ve  $L^*a^*b^*$  dönüşümlü karma yöntem,  $L^*a^*b^*$  dönüşümü ile elde edilen bileşenlerin frekans analizi ile birleştirilmesine dayanan bir görüntü birleştirme yöntemidir [25]. Bu

yönteme ait paralel programlamalı görüntü birleştirme algoritmasının blok diyagramı şekil 4.15 ve şekil 4.16 ile gösterilmiştir.



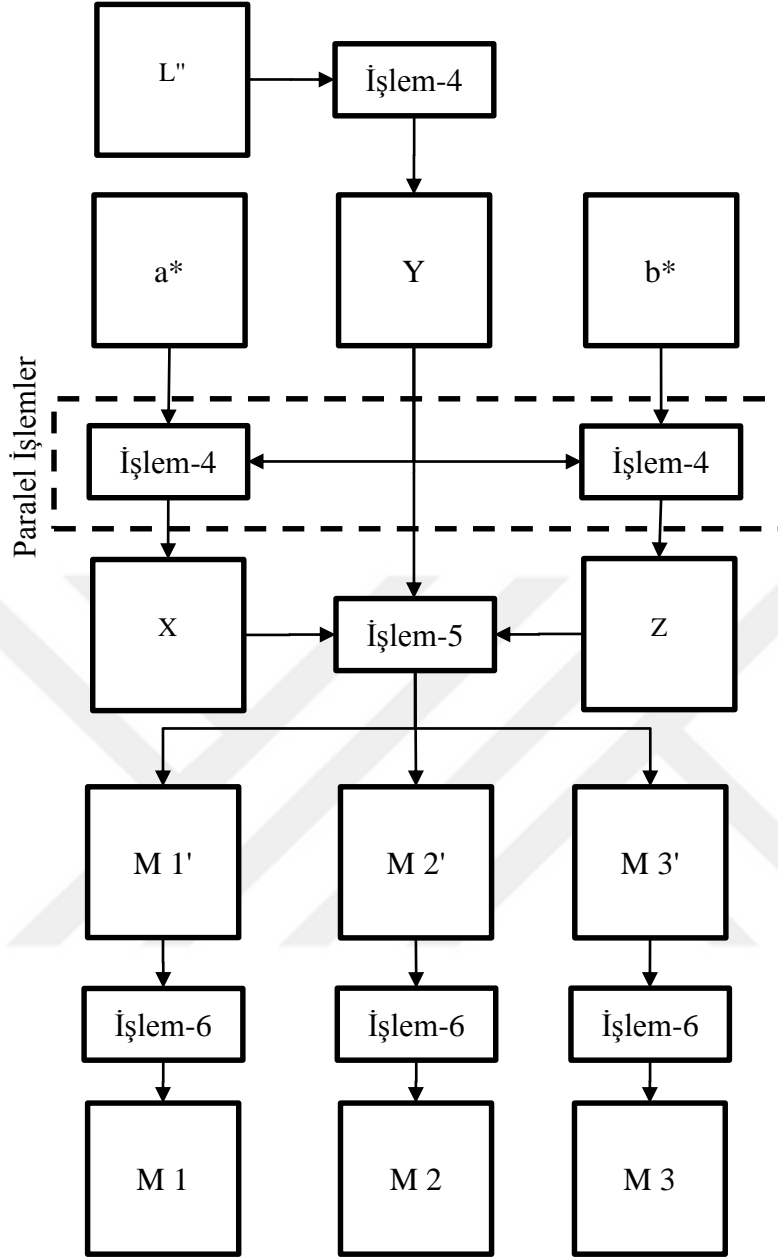
Şekil 4.15 : DFT ve  $L*a*b^*$  dönüşümlü karma yöntem (1. kısım).



Bu karma yöntem ile paralel programlamalı görüntü birleştirme algoritmasına multispektral görüntünün normalize edilmesi ile başlanır. Bu çalışmada kullanılan SPOT 6 uydu görüntüleri 12 bit görüntü kodlamasına sahiptir. Normalizasyon için görüntünün her bir bandı, şekil 4.15 'de işlem-1 ile gösterilen adımda  $2^{12}$  'ye bölünür. Elde edilen normalize görüntüler işlem-2 'de bölüm 4.2.3 'deki denklem 4.8a ile verilen katsayı matrisi ile çarpılarak  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  görüntüleri elde edilir. Bölüm 4.2.3 'deki denklem 4.9 ile gösterilen formül kullanılarak şekil 4.15 'deki işlem-3 'de  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  görüntülerinden  $L$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  görüntüleri elde edilir. Parlaklık görüntüsü  $L$  ile pankromatik görüntünün histogramı eşlenir ve histogram eşlenmiş pankromatik görüntü elde edilir. Histogram eşlenmiş pankromatik görüntü ve  $L$  parlaklık görüntüsü iki boyutlu ayrık Fourier dönüşümüne sokularak frekans uzayı bileşenleri elde edilir. Keskinlik bilgisi için pankromatik görüntünün yüksek frekans bileşenleri yüksek geçiren süzgeçle, parlaklık bilgisi için ise  $L$  parlaklık görüntüsünün düşük frekans bileşenleri alçak geçiren süzgeçle süzülerek birleştirilir. Frekans uzayında elde edilen yeni görüntü iki boyutlu ters Fourier dönüşümüne sokularak keskinleştirilmiş parlaklık görüntüsü olan  $L''$  görüntüsü elde edilir. İşlem-1 ve işlem-3 ile gösterilen işlemler bant tabanlı birbirinden bağımsız işler olduğu için bu hesaplamalar paralel olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.16'da gösterildiği üzere keskinleştirilmiş parlaklık görüntüsü  $L''$ , işlem-4 ile gösterilen ters CIE  $L^*a^*b^*$  dönüşümüne sokularak  $Y$  görüntüsü elde edilir. Ardından  $a^*$  ve  $b^*$  görüntüleri de işlem-4 ile gösterilen ters CIE XYZ dönüşümüne sokularak  $X$  ve  $Z$  görüntüleri elde edilir.  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  görüntülerine işlem-5 ile gösterilen blokta bölüm 4.2.3 'deki denklem 4.8b bağıntısından yararlanılarak ters XYZ dönüşümü uygulanır. Bu işlem sonucunda normalize edilmiş ve pan keskinleştirilmiş görüntünün bantları elde edilir. Son adımda normalize görüntü, yeniden 12 bit kodlanarak pan keskinleştirilmiş görüntü elde edilir.

DFT ve CIE  $L^*a^*b^*$  dönüşümlü karma yöntem ile görüntü birleştirme algoritması bant tabanlı paralelleştirme açısından kısıtlı olanaklar sunmaktadır. Şekilde 4.15 ve şekil 4.16'da kesikli dikdörtgen içerisinde paralel olarak yürütülen işlemler gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere paralelleştirilebilen bölüm oldukça kısıtlıdır. Bu kısıtlı paralelleştirme olanağına rağmen paralel programlama ile test bilgisayarında yapılan ölçümlerde, hesaplama sürelerinde %20 'lere varan iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 4.16 : DFT ve  $L^*a^*b^*$  dönüşümlü karma yöntem (2. kısım).

## 5. BAŞARIM DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada iki tip değerlendirme kistası göz önünde bulundurularak paralel programlamalı görüntü birleştirme algoritmaları üretilmiştir. Bu iki değerlendirme kistası görüntü birleştirme kalitesi ve görüntü birleştirme hesaplama süredir.

Hesaplama süresinin ölçümünde, pankromatik görüntü ve yukarı ölçeklenmiş multispektral görüntünün oluşturulmasından pan keskinleştirilmiş görüntünün eldesine kadar geçen süre esas alınmıştır. Diskte yer alan görüntülerin okunarak belleğine alınma süresi, multispektral görüntülerin yeniden ölçeklenme süresi ve oluşturulan pan keskinleştirilmiş görüntünün diske yazılma süresi bu hesaplamanın içine dâhil edilmemiştir. Ardışık programlamadan ve paralel programlamaya dönüştürülen algoritmaların hesaplama sürelerindeki yüzdesel değişim denklem 5 'deki formül ile hesaplanmıştır.

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (5.1a)$$

$$G = \frac{t_a - t_p}{t_a} \times 100 \quad (5.1b)$$

Bu ifadelerde  $t$  hesaplama süresini,  $n$  iterasyon sayısını,  $t_i$   $i$  'inci iterasyondaki hesaplama süresini,  $t_a$  ardışık programlamaya ait ortalama hesaplama süresini,  $t_p$  paralel programlamaya ait ortalama hesaplama süresini,  $G$  ise yüzdesel kazancı ifade eder

Pan keskinleşmiş görüntünün birleştirme kalitesini değerlendirmek için ise akademik topluluk tarafından kabul görmüş ve sıklıkla kullanılan SAM, RMSE, RASE ve ERGAS görüntü birleştirme kalite değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Görüntü birleştirme kalitesinin değerlendirebilmesi için pan keskinleştirilmiş görüntüde yer alan yüzeyin aynı çözünürlükteki özgün görüntüsüne ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı karşılamak için SPOT 6 uydusundan elde edilen pankromatik ve multispektral görüntüler 1/4 oranında ölçeklenerek görüntü birleştirme işlemine sokulmuştur. Görüntü birleştirme sonunda elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntünün

çözünürlüğü ile SPOT 6 uydusundan elde edilen özgün multispektral görüntünün çözünürlüğü aynıdır. Özgün multispektral görüntü, başarımlı değerlendirme yöntemlerinde referans görüntü olarak kullanılmıştır.

## 5.1 SAM

SAM (Spectral Angle Mapper) vektörler arası spektral benzerliği temel alan bir yöntemdir [26]. SAM yöntemi ile elde edilen değerlendirme sonuçlarının küçülmesi, birleştirme kalitesinin artışı gösterir. Yönteme ait matematiksel ifade denklem 5.2 ile ifade edilmiştir

$$SAM(i) = \cos^{-1} \left( \frac{\langle MS_i, M_i \rangle}{\|MS_i\| \|M_i\|} \right) \quad (5.2)$$

Bu ifadede  $M_i$  pan keskinleştirilmiş görüntünün  $i$  'inci bandını,  $MS_i$  ise SPOT 6 MS görüntünün  $i$  'inci bandını ifade etmektedir.

Gebze şehir görüntüsü, İstanbul orman görüntüsü ve Urfa tarım arazisi görüntüsü ile elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntüler SAM kalite değerlendirme yöntemi ile değerlendirilerek ek A.4'deki sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre şehir ve orman görüntüsü için en iyi birleştirme kalite değerine sahip yöntem Butterworth süzgeçli DFT + IHS dönüşümlü karma yöntem olurken tarım arazisi görüntüsü için en iyi kalite değerine sahip birleştirme yöntemi Butterworth süzgeçli DFT ile görüntü birleştirme yöntemi olduğu görülmektedir. Ayrıca paralel programlama ile yapılan hesaplamalarda, hesaplama maliyeti açısından Gebze şehir görüntüsü için %10,14 iyileşme, İstanbul orman görüntüsü için %13,98 iyileşme ve Urfa tarım arazisi görüntüsü için %30,52 iyileşme sağlanmıştır.

## 5.2 RMSE

RMSE (Root Mean Square Error), referans görüntü ile pan keskinleştirilmiş görüntü arasındaki karesel farkın ortalamasını temel alan bir yöntemdir [27]. RMSE yöntemi ile elde edilen değerlendirme sonuçlarının küçülmesi, birleştirme kalitesinin artışı gösterir. Yöntemin matematiksel ifadesi denklem 5.3 ile ifade edilmiştir.

$$RMSE(i) = \frac{1}{tP} \sqrt{\sum_{k=1}^{tP} (MS_i(k) - M_i(k))^2} \quad (5.3)$$

Bu ifadede  $tP$  bir görüntündeki toplam piksel sayısını,  $M_i$  pan keskinleştirilmiş görüntünün  $i$  'inci bandını ve  $MS_i$  ise SPOT 6 MS görüntünün  $i$  'inci bandını ifade etmektedir.

Şehir, orman ve tarım arazisi görüntüleri ile elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntüler RMSE kalite değerlendirme yöntemi ile değerlendirilerek ek A.5'deki sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kullanılan üç tip görüntü için de en iyi birleştirme kalite değerlerini Butterworth süzgeçli DFT + IHS dönüşümlü karma yöntem ile elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntülerin verdiği görülmektedir. Ayrıca paralel programlama ile yapılan hesaplamalarda, hesaplama maliyeti açısından Gebze şehir görüntüsü için %10,14 iyileşme, İstanbul orman görüntüsü için %13,98 iyileşme ve Urfa tarım arazisi görüntüsü için %12,54 iyileşme sağlanmıştır.

### 5.3 RASE

RASE (Relative Average Spectral Error), RMSE yönteminden türetilmiş olup denklem 5.4 ile ifade edilmektedir [28].

$$RASE = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{RMSE^2(i)}{G(MS_i)} \right)} \quad (5.4)$$

Bu ifadede  $G(MS_i)$  ifadesi SPOT 6 MS görüntünün  $i$  'inci bandı için algılayıcı kazanç değerini ifade etmektedir. RASE yöntemi ile elde edilen değerlendirme sonuçlarının küçülmesi birleştirme kalitesinin artışı gösterir.

Gebze şehir görüntüsü, İstanbul orman görüntüsü ve Urfa tarım arazisi görüntüsü ile elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntüler RASE kalite değerlendirme yöntemi ile değerlendirilerek ek A.6'da yer verilen sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre üç tip görüntü için de en iyi birleştirme kalite değerine sahip yöntemin Butterworth süzgeci kullanılarak uyulanan DFT + IHS dönüşümlü karma yöntem olduğu görülmektedir. Ayrıca paralel programlama ile yapılan hesaplamalara dayanarak yapılan analizlerde, hesaplama maliyeti açısından sonuçlar incelendiğinde Gebze şehir görüntüsü için %10,14 iyileşme, İstanbul orman görüntüsü için %13,98 iyileşme ve Urfa tarım arazisi görüntüsü için ise %12,54 iyileşme sağlandığı görülmektedir.

#### 5.4 ERGAS

ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) değerlendirme yöntemi, RMSE yöntemindeki hesaplamaya pankromatik ve multispektral görüntü çözünürlüklerinin oranının da dâhil edilmesiyle türetilmiş bir yöntem olup denklem 5.5 ile ifade edilmiştir [28].

$$RASE = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{RMSE^2(i)}{G^2(MS_i)} \right)} \quad (5.5)$$

Bu ifadede  $G(MS_i)$  ifadesi SPOT 6 MS görüntünün  $i$  'inci bandı için algılayıcı kazanç değerini,  $h/l$  ise pankromatik ve multispektral görüntü arasındaki çözünürlük oranını ifade etmektedir. ERGAS yöntemi ile elde edilen değerlendirme sonuçlarının küçülmesi birleştirme kalitesinin artışı gösterir.

Gebze şehir görüntüsü, İstanbul orman görüntüsü ve Urfa tarım arazisi görüntüsü ile elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntüler ERGAS kalite değerlendirme yöntemi ile değerlendirilerek ek A.6'daki sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Butterworth süzgeçli DFT + IHS dönüşümlü karma yöntem kullanılarak elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntülerin en iyi birleştirme kalite değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca paralel programlama ile yapılan hesaplamalarda, hesaplama maliyeti açısından Gebze şehir görüntüsü için %10,14 iyileşme, İstanbul orman görüntüsü için %13,98 iyileşme ve Urfa tarım arazisi görüntüsü için %12,54 iyileşme sağlanmıştır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Paralel hesaplama kullanarak yerel Fourier filtreleri ile optik uydu görüntülerinin birleştirilmesi başlıklı bu tez çalışması kapsamında üç farklı bölgeye ait SPOT 6 optik uydu görüntüleri yedi farklı görüntü birleştirme yöntemi ve beş farklı Fourier filtresi ile ardışık ve paralel programlamalı olarak birleştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan SPOT 6 uydu görüntüleri bir adet 1024 x 1024 çözünürlüklü tek bantlı pankromatik görüntü ve bir adet 256 x 256 çözünürlüklü üç bantlı multispektral görüntüdür. Multispektral görüntü kırmızı, yeşil ve mavi bantlardan oluşmaktadır. Hem pankromatik hem de multispektral görüntü 12 bit kodlanmış görüntülerdir. Kullanılan uydu görüntüleri Kocaeli Gebze bölgesine ait şehir görüntüsü, İstanbul kuzey ormanlarına ait orman görüntüsü ve Urfa kırsallarına ait tarım arazisi görüntüsüdür.

Kullanılan yedi adet görüntü birleştirme yönteminden dördü frekans uzayı analizi içermektedir. Frekans uzayı analizi içeren görüntü birleştirme yöntemlerinde süzgeçleme için beş farklı tip yerel Fourier filtresi kullanılmıştır.

Uygulanan tüm görüntü birleştirme algoritmalarında histogram eşleme işlemi yapılmıştır. Geliştirilen her görüntü birleştirme algoritması hem ardışık hem de paralel programlamalı olarak üretilmiştir.

Kullanılan tüm bu değişkenler ile 138 farklı görüntü birleştirme deney seti oluşturulmuştur. Hesaplama performansı ölçümlerinde her bir deney seti on kez çalıştırılarak hesaplama sürelerinin ortalamaları alınmıştır.

Pan keskinleştirilmiş görüntünün kalitesinin ölçümünde dört adet değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerden ikisi bant tabanlı sonuçlar üretirken diğer ikisi görüntü tabanlı sonuçlar üretmektedir. Her bir deney seti için sekiz farklı kalite değerlendirme sonucu elde edilmiştir. Elde edilen sekiz adet kalite değerlendirme sonucunun birleştirilmesi için her bir değer, 138 farklı testte elde edilen aynı tipteki kalite değerlerinden en büyüğüyle bölünerek normalize edilmiştir. Sekiz değer de normalize edilip toplandıktan sonra sekize bölünerek tek bir normalize kalite

değerlendirme sonucu  $K$  elde edilir.  $K$  kalite değeri en fazla 1 olabilir. Küçük  $K$  değerleri yüksek birleştirme kalitesini gösterirken  $K$  değerinin 1 'e eşit olması en kötü kalite değerini gösterir. Bu kalite hesaplaması denklem 6.1 ile gösterilmiştir.

$$K = \frac{1}{8} \times \left( K_{SAM} + K_{RMSE} \frac{RASE}{MAKS(RASE)} + \frac{ERGAS}{MAKS(ERGAS)} \right) \quad (6.1)$$

$$K_{SAM} = \frac{SAM_{B1}}{MAKS(SAM_{B1})} + \frac{SAM_{B2}}{MAKS(SAM_{B2})} + \frac{SAM_{B3}}{MAKS(SAM_{B3})}$$

$$K_{RMSE} = \frac{RMSE_{B1}}{MAKS(RMSE_{B1})} + \frac{RMSE_{B2}}{MAKS(RMSE_{B2})} + \frac{RMSE_{B3}}{MAKS(RMSE_{B3})}$$

Bu tez çalışması ile yerel Fourier filtrelerinin çeşitli görüntü birleştirme yöntemlerinde kullanımı ve paralel programlamanın farklı görüntü tiplerinde görüntü birleştirme kalitesine ve hesaplama maliyetlerine olan etkisi karşılaştırmalı olarak analiz edilip farklı açılardan en iyi seçenekler belirlenmiştir.

### 6.1 Yerel Fourier Filtre Analizleri

Frekans analizi içeren görüntü birleştirme yöntemlerinde kullanılan yerel Fourier filtreleri, görüntü birleştirme kalitesini ve hesaplama maliyetlerini doğrudan etkiler. Bu çalışma kapsamında kullanılan Fourier süzgeçlerinin görüntü kalitesine etkisini gösteren karşılaştırmalı sonuçlar çizelge 6.1, çizelge 6.2 ve çizelge 6.3 ile gösterilmiştir.

**Çizelge 6.1 :** Gebze şehir görüntüsü için Fourier filtre analizi.

#	Fourier Filtresi	Kalite Değeri
1	Butterworth Süzgeç	0,5958
2	Gaussian Süzgeç	0,6099
3	İdeal Süzgeç	0,6618
4	Hamming Penceresi	0,7218
5	Hanning Penceresi	0,7309

**Çizelge 6.2 :** İstanbul orman görüntüsü için Fourier filtre analizi.

#	Fourier Filtresi	Kalite Değeri
1	Butterworth Süzgeç	0,2671
2	Gaussian Süzgeç	0,2744
3	İdeal Süzgeç	0,2911
4	Hamming Penceresi	0,3052
5	Hanning Penceresi	0,3074



**Çizelge 6.3 :** Urfa tarım arazisi görüntüsü için Fourier filtre analizi

#	Fourier Filtresi	Kalite Değeri
1	Butterworth Süzgeç	0,2488
2	Gaussian Süzgeç	0,2548
3	İdeal Süzgeç	0,2740
4	Hamming Penceresi	0,2921
5	Hanning Penceresi	0,2948

Analiz sonuçlarına göre şehir, orman ve tarım arazisi görüntülerinin üçü için de en iyi görüntü birleştirme kalite değerini sağlayan filtre birinci derece Butterworth süzgeçtir. Yerel Fourier filtreleri ile yapılan tüm hesaplamalara Ek A. Görüntü Birleştirme Hesaplamaları bölümünde yer verilmiştir.

## 6.2 Görüntü Birleştirme Yöntemi Analizleri

Görüntü birleştirme yöntemleri, pan keskinleştirilmiş görüntü elde etmeyi sağlayan yöntemlerdir. Frekans uzayı analizleri, Fourier süzgeçlerinin kullanımı ve histogram eşleme gibi farklı değişkenler ile çeşitlendirilen yöntemler ile yapılan hesaplamalarda en iyi sonuçları veren yöntemler karşılaştırmalı olarak çizelge 6.4, çizelge 6.5 ve çizelge 6.6 ile gösterilmiştir.

Şekil 6.1’de, pan keskinleştirme için kullanılan multispektral Gebze şehir görüntüsünün 250 x 250 piksel büyüklüğündeki bir kesiti gösterilmiştir. Gebze şehir görüntüsü kullanılarak elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntüler içinde en iyi birleştirme kalite değerine sahip görüntüleri elde etmeye yarayan görüntü birleştirme yöntemleri sırayla çizelge 6.4’de gösterilmiştir. Çizelgede yer alan yöntemler ile elde edilen ve şekil 6.1’deki görüntüyle aynı alanı kapsayan pan keskinleştirilmiş görüntüler şekil 6.2, şekil 6.3 ve şekil 6.4 ile gösterilmiştir.

**Çizelge 6.4 :** Gebze şehir görüntüsü için en iyi görüntü birleştirme yöntemleri.

#	Yöntem	Fourier Filtresi	Kalite Değeri
1	DFT + IHS	Butterworth Süzgeç	0,5094
2	DFT	Butterworth Süzgeç	0,5153
3	DFT + IHS	Gaussian Süzgeç	0,5276

Şekil 6.5’da, pan keskinleştirme için kullanılan multispektral İstanbul orman görüntüsünün 250 x 250 piksel büyüklüğündeki bir kesiti gösterilmiştir. İstanbul orman görüntüsü kullanılarak elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntüler içinde en iyi birleştirme kalite değerine sahip görüntüleri elde etmeye yarayan görüntü birleştirme

yöntemleri sırayla çizelge 6.5’de gösterilmiştir. Çizelgede yer alan yöntemler ile elde edilen ve şekil 6.5’deki görüntüyle aynı alanı kapsayan pan keskinleştirilmiş görüntüler şekil 6.6, şekil 6.7 ve şekil 6.8 ile gösterilmiştir.



**Şekil 6.1 :** Orijinal boyutlarında multispektral Gebze şehir görüntüsü örneği.



**Şekil 6.2 :** Butterworth süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Gebze şehir görüntüsü örneği.

Şekil 6.9’da, pan keskinleştirme için kullanılan multispektral Urfa tarım arazisi görüntüsünden kesilen 250 x 250 piksel boyutlarında örnek bir alan gösterilmiştir. Urfa tarım arazisi görüntüsü kullanılarak elde edilen pan keskinleştirilmiş görüntüler içinde en iyi birleştirme kalite değerine sahip görüntüleri elde etmede kullanılan görüntü birleştirme yöntemlerine başarısı sırasına göre çizelge 6.6 ’da yer verilmiştir. Çizelgede yer alan yöntemler ile elde edilen ve şekil 6.9’daki görüntüyle aynı alanı kapsayan pan keskinleştirilmiş görüntüler şekil 6.10, şekil 6.11 ve şekil 6.12 ile gösterilmiştir.



**Şekil 6.3 :** Butterworth süzgeçli DFT yöntemi ile pan keskinleştirmiş Gebze şehir görüntüsü örneği.



**Şekil 6.4 :** Gaussian süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Gebze şehir görüntüsü örneği.

**Çizelge 6.5 :** İstanbul orman görüntüsü için en iyi görüntü birleştirme yöntemleri.

#	Yöntem	Fourier Filtresi	Kalite Değeri
1	DFT + IHS	Butterworth Süzgeç	0,2007
2	DFT + IHS	Gaussian Süzgeç	0,2080
3	DFT	Butterworth Süzgeç	0,2124

Şehir, orman ve tarım arazisi görüntüleriyle gerçekleştirilen görüntü birleştirme işlemlerinde en iyi kalite değerlerine sahip yöntemlerin DFT ve IHS + DFT yöntemlerinin Butterworth ve Gaussian süzgeçli sürümleri olduğu görülmektedir. Görüntü birleştirme yöntemlerinin tüm deney setleri ile elde edilen tüm sonuçlarına Ek A. Görüntü Birleştirme Hesaplamaları bölümünde verilmiştir



**Şekil 6.5 :** Orijinal boyutlarında multispektral İstanbul orman görüntüsü örneği.



**Şekil 6.6 :** Butterworth süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş İstanbul orman görüntüsü örneği.



**Şekil 6.7 :** Gaussian süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş İstanbul orman görüntüsü örneği.



**Şekil 6.8 :** Butterworth süzgeçli DFT yöntemi ile pan keskinleştirmiş İstanbul orman görüntüsü örneği.



**Şekil 6.9 :** Orijinal boyutlarında multispektral Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.



**Şekil 6.10 :** Butterworth süzgeçli DFT yöntemi ile pan keskinleştirmiş Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.



**Şekil 6.11** : Butterworth süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.



**Şekil 6.12** : Gaussian süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile pan keskinleştirmiş Urfa tarım arazisi görüntüsü örneği.

**Çizelge 6.6** : Urfa tarım arazisi görüntüsü için en iyi görüntü birleştirme yöntemleri.

#	Yöntem	Fourier Filtresi	Kalite Değeri
1	DFT	Butterworth Süzgeç	0,1945
2	DFT + IHS	Butterworth Süzgeç	0,1949
3	DFT + IHS	Gaussian Süzgeç	0,2016

### 6.3 Paralel Hesaplama Analizleri

Görüntü birleştirme algoritmalarında yer alan hesaplama modelleri, hesaplama maliyetlerini belirleyen en önemli etkidir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen tüm görüntü birleştirme modelleri Python threading modülü ile bant bazlı paralelleştirilmiştir. Böylece hesaplama sürelerinde iyileşme sağlanmıştır.

Kullanılan görüntü birleştirme yöntemleri paralelleştirme açısından farklı hesaplama performansları göstermektedir. Ardışık hesaplamada bir işlemci çekirdeği, paralel hesaplamalarda iki işlemci çekirdeği çalışacak şekilde yapılan hesaplamalara ilişkin elde edilen özet kazanç tablosu çizelge 6.7 ile gösterilmiştir.

**Çizelge 6.7 :** Birleştirme yöntemlerine göre ortalama paralel hesaplama kazançları.

#	Yöntem	Ortalama Kazanç (%)
1	DFT	28,87
2	HFM	27,76
3	$L*a*b^*$	26,57
4	DFT + $L*a*b^*$	14,95
5	DFT + IHS	10,41
6	IHS	5,62
7	Brovey	1,82

Çizelgede görüldüğü üzere bant tabanlı paralel programlama ile görüntü birleştirme hesaplama maliyetlerinde kullanılan her yöntem için iyileşme sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Fourier dönüşümü ya da renk uzayı dönüşümü gibi matematiksel hesapların fazla olduğu ve bu hesaplamaların her bant için tekrarlandığı yöntemlerde hesaplama maliyeti kazancının daha yüksek olduğu görülmektedir. Tüm deney setleri için yapılan hesaplamaların sonuçlarına Ek A. Görüntü Birleştirme Hesaplamaları bölümünde verilmiştir.

#### 6.4 Öneriler

Bu tez çalışması kapsamında paralel programlama kullanarak yerel Fourier filtreleri ile görüntü birleştirme uygulaması yapılmıştır. Uygulanan yedi farklı yöntem ve beş farklı Fourier filtresi ile ardışık ve bant tabanlı paralel programlamalı 138 farklı hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre yoğun matematiksel işlemlere ve bant tabanlı bağımsız iş parçalarına sahip görüntü birleştirme algoritmalarında bant sayısı ve işlemci çekirdek sayısı ile orantılı olarak hesaplama sürelerinde yüksek iyileşme sağlanmıştır.

Görüntü birleştirme yöntemleri hem pan keskinleştirilmiş görüntü kalitesi hem de hesaplamala maliyetleri açısından değerlendirildiğinde en faydalı yöntemin Butterworth süzgeçli DFT ile görüntü birleştirme yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar Butterworth süzgeçli DFT + IHS yöntemi ile elde edilen görüntülerin görüntü kalite değerleri Butterworth süzgeçli DFT yöntemi ile elde edilen görüntülere göre

daha iyi olsa da bu değerler arasındaki fark oldukça küçük seviyededir. Buna karşın paralel hesaplama maliyetleri incelendiğinde DFT yönteminin DFT + IHS yöntemine göre yaklaşık üç kat daha hızlı olduğu görölmektedir.

Elde edilen sonuçlara dayanarak çok bantlı optik uydu görüntülerinin yerel Fourier filtreleri ile zenginleştirilmiş görüntü birleştirme yöntemleriyle birleştirilmesinde paralel programlama algoritmalarının kullanılması, hesaplama maliyetlerinin düşürülmesi açısından tavsiye edilmektedir. Kullanılan yöntemin gelişimi için, daha çok banda sahip optik uydu görüntüleri ile çok çekirdekli CPU ve GPU 'lu hesaplama sistemleri üzerinde çalıştırılarak daha yüksek verim elde etme çalışmaları yapılabilir.





## KAYNAKLAR

- [1] **Al-Wassai, F., Kalyankar, N., & Al-Zuky, A.** (2011). Arithmetic and Frequency Filtering Methods of Pixel-Based Image Fusion Techniques. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*(2/5).
- [2] **Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R., & Kats.** (2011). A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. *Advances in Signal Processing*.
- [3] **Astrium.** SPOT 6 SPOT 7 Technical Sheet. Alındığı tarih: Mart 20, 2019 adres: [http://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/edited/r18072\\_9\\_spot\\_6\\_technical\\_sheet.pdf](http://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/edited/r18072_9_spot_6_technical_sheet.pdf)
- [4] **Canada Centre for Remote Sensing.** Fundamentals of Remote Sensing.
- [5] **Collopy, J., Armstrong, S., & Fred.** (1992). Error Measures For Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons. *Journal of Forecasting*, 8, 69-80.
- [6] **Denipote, J. G., Paiva, M. S., Denipote, J. G., & Paiva, M.** (2008). A Fourier Transform-based Approach to Fusion High Spatial Resolution Remote Sensing Images. *IEEE Conference Publications*, 179-186.
- [7] **Fairchild, C.** (2018, Temmuz 12). Guido van Rossum Stepping Down from Role as Python's Benevolent Dictator For Life. (*Linux Journal*). Alındığı tarih: Şubat 26, 2019 adres: <https://www.linuxjournal.com/content/guido-van-rossum-stepping-down-role-pythons-benevolent-dictator-life>
- [8] **Fairchild, M. D.** (2005). *Color Appearance Models 2nd Ed.* Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- [9] **Gibson, P. J.** (2000). *Introductory Remote Sensing: Principles and Concepts.* London: Routledge.
- [10] **Gillespie, A. R., K. A., & Walker, R. E.** (1987). Color Enhancement of Highly Correlated Images-II. Channel Ratio and "Chromaticity" Transform Techniques. *Remote Sensing of Environment*(22), 343-365.
- [11] **Gonzalez, R., & Woods, R.** (2002). *Digital Image Processing.* New Jersey: Prentice Hall.
- [12] **Hu, L., Xiangli, B., Su, L., & Yuan, Y.** (2012). Fusion Of Multispectral and Panchromatic Images Using Lab Transform Based on Fourier Filtering. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, s. 2284-2287.
- [13] **Image, S.** (2003). *SPOT Satellite Technical Data.* Los Angeles: SPOT Image.

- [14] **Jasani, B., & Stein, G.** (2002). Commercial Satellite Imagery: A Tactic in. Berlin: Springer Praxis Publ.
- [15] **Keys, R.** (1981, Aralık). Cubic convolution interpolation for digital image. Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions, 29(6), 1153,1160.
- [16] **Kruse, F. A.** (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. Remote Sensing of Environment 44, s. 145-163.
- [17] **Lillo-Saavedra, M. G.** (2005). Fusion of multispectral and panchromatic satellite sensor imagery based on tailored filtering in the Fourier domain. International Journal of Remote Sensing.
- [18] **Lim, J. S.** (1990). Two-Dimensional Signal and Image Processing. New Jersey: Prentice Hall.
- [19] **Mitchell, H.** (2010). Image Fusion - Theories, Techniques and Applications . Berlin: Springer.
- [20] **Najim, M.** (2004). Digital Filters Design for Signal and Image Processing. ISTE Ltd.: London.
- [21] **Oppenheim, A., Schafer, R., & Buck, J.** (1998). Discrete-Time Signal. New Jersey: Prentice Hall.
- [22] **Pacheco, P.** (2011). An Introduction to Parallel Programming. Burlington: Morgan Kaufmann publications.
- [23] **Palach, J.** (2014). Parallel Programming with Python. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- [24] **Pohl, C., & Genderen, J. v.** (2016). Remote Sensing Image Fusion: A Practical Guide. Boca Raton: CRC Press.
- [25] **Satellite Imaging Corporation.** Alındığı tarih: Mart 20, 2019 adres: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-7>
- [26] **Sharma, D. P.** (2017). Programming in Python. New Delhi: BPB Publications.
- [27] **Vijayaraghavan, K., Parpyani, K., & Thakwani, S.** (2009). Methods of Increasing Spatial Resolution of Digital Images with Minimum Detail. Fifth International Conference on Image and Graphics, s. 685 - 689.
- [28] **Zaccone, G.** (2015). Python Parallel Programming Cookbook. Birmingham: Packt Publishing Ltd.

## **EKLER**

**EK A1:** Gebze şehir görüntüsü için ardışık ve paralel programlamalı görüntü birleştirme hesaplama süreleri.

**EK A2:** İstanbul orman görüntüsü için ardışık ve paralel programlamalı görüntü birleştirme hesaplama süreleri.

**EK A3:** Urfa tarım arazisi görüntüsü için ardışık ve paralel programlamalı görüntü birleştirme hesaplama süreleri.

**EK A4:** SAM kalite değerlendirme sonuçları.

**EK A5:** RMSE kalite değerlendirme sonuçları.

**EK A6:** RASE ve ERGAS kalite değerlendirme sonuçları.





**EK A****Çizelge A.1** : Gebze şehir görüntüsü için ardışık ve paralel programlamalı görüntü birleştirme hesaplama süreleri.

PROGRAM	HESAP SÜRESİ (sn)	KAZANÇ	YÖNTEM	SÜZGEÇ
Ardışık	0,744594693	-	DFT	İdeal
Paralel	0,500683475	32,76%	DFT	İdeal
Ardışık	0,72863245	-	DFT	Hamming
Paralel	0,527564144	27,60%	DFT	Hamming
Ardışık	0,741605258	-	DFT	Hanning
Paralel	0,530040193	28,53%	DFT	Hanning
Ardışık	0,72682302	-	DFT	Butterworth
Paralel	0,503434348	30,73%	DFT	Butterworth
Ardışık	0,724821186	-	DFT	Gaussian
Paralel	0,517507029	28,60%	DFT	Gaussian
Ardışık	0,045419788	-	IHS	-
Paralel	0,043215632	4,85%	IHS	-
Ardışık	0,334070206	-	DFT + IHS	İdeal
Paralel	0,296382308	11,28%	DFT + IHS	İdeal
Ardışık	0,331892848	-	DFT + IHS	Hamming
Paralel	0,321248531	3,21%	DFT + IHS	Hamming
Ardışık	0,334754157	-	DFT + IHS	Hanning
Paralel	0,303095984	9,46%	DFT + IHS	Hanning
Ardışık	0,333967447	-	DFT + IHS	Butterworth
Paralel	0,300109458	10,14%	DFT + IHS	Butterworth
Ardışık	0,331273746	-	DFT + IHS	Gaussian
Paralel	0,297749043	10,12%	DFT + IHS	Gaussian
Ardışık	0,676011562	-	Lab	-
Paralel	0,53680141	20,59%	Lab	-
Ardışık	0,968986964	-	DFT + Lab	İdeal
Paralel	0,802307081	17,20%	DFT + Lab	İdeal
Ardışık	0,955652308	-	DFT + Lab	Hamming
Paralel	0,830332899	13,11%	DFT + Lab	Hamming
Ardışık	0,965128565	-	DFT + Lab	Hanning
Paralel	0,836321759	13,35%	DFT + Lab	Hanning
Ardışık	0,95461669	-	DFT + Lab	Butterworth
Paralel	0,803929043	15,79%	DFT + Lab	Butterworth
Ardışık	0,963129067	-	DFT + Lab	Gaussian
Paralel	0,819455409	14,92%	DFT + Lab	Gaussian
Ardışık	0,039849138	-	Brovey	-
Paralel	0,039243674	1,52%	Brovey	-
Ardışık	0,567865014	-	HFM	İdeal
Paralel	0,398258138	29,87%	HFM	İdeal
Ardışık	0,566680145	-	HFM	Hamming

Paralel	0,425264072	24,96%	HFM	Hamming
Ardışık	0,564916301	-	HFM	Hanning
Paralel	0,424464726	24,86%	HFM	Hanning
Ardışık	0,578341079	-	HFM	Butterworth
Paralel	0,406014442	29,80%	HFM	Butterworth
Ardışık	0,565311599	-	HFM	Gaussian
Paralel	0,412867785	26,97%	HFM	Gaussian

**Çizelge A.2 :** İstanbul orman görüntüsü için ardışık ve paralel programlamalı görüntü birleştirme hesaplama süreleri.

PROGRAM	HESAP SÜRESİ (sn)	KAZANÇ	YÖNTEM	SÜZGEÇ
Ardışık	0,728697824	-	DFT	İdeal
Paralel	0,498919415	31,53%	DFT	İdeal
Ardışık	0,725458121	-	DFT	Hamming
Paralel	0,53600862	26,11%	DFT	Hamming
Ardışık	0,72647121	-	DFT	Hanning
Paralel	0,534847212	26,38%	DFT	Hanning
Ardışık	0,719886613	-	DFT	Butterworth
Paralel	0,507440329	29,51%	DFT	Butterworth
Ardışık	0,720927596	-	DFT	Gaussian
Paralel	0,518088007	28,14%	DFT	Gaussian
Ardışık	0,044853377	-	IHS	-
Paralel	0,042663121	4,88%	IHS	-
Ardışık	0,329811112	-	DFT + IHS	İdeal
Paralel	0,279374385	15,29%	DFT + IHS	İdeal
Ardışık	0,334667802	-	DFT + IHS	Hamming
Paralel	0,305072522	8,84%	DFT + IHS	Hamming
Ardışık	0,32834866	-	DFT + IHS	Hanning
Paralel	0,306899071	6,53%	DFT + IHS	Hanning
Ardışık	0,329852104	-	DFT + IHS	Butterworth
Paralel	0,283750796	13,98%	DFT + IHS	Butterworth
Ardışık	0,338688874	-	DFT + IHS	Gaussian
Paralel	0,297257781	12,23%	DFT + IHS	Gaussian
Ardışık	0,667193079	-	Lab	-
Paralel	0,526721311	21,05%	Lab	-
Ardışık	0,954170322	-	DFT + Lab	İdeal
Paralel	0,789742804	17,23%	DFT + Lab	İdeal
Ardışık	0,955618739	-	DFT + Lab	Hamming
Paralel	0,820647597	14,12%	DFT + Lab	Hamming
Ardışık	0,959777403	-	DFT + Lab	Hanning
Paralel	0,820887399	14,47%	DFT + Lab	Hanning
Ardışık	0,950286984	-	DFT + Lab	Butterworth
Paralel	0,802763891	15,52%	DFT + Lab	Butterworth

Ardışık	0,949759078	-	DFT + Lab	Gaussian
Paralel	0,814369535	14,26%	DFT + Lab	Gaussian
Ardışık	0,039904261	-	Brovey	-
Paralel	0,039356399	1,37%	Brovey	-
Ardışık	0,5671772	-	HFM	İdeal
Paralel	0,397500396	29,92%	HFM	İdeal
Ardışık	0,581251383	-	HFM	Hamming
Paralel	0,417212486	28,22%	HFM	Hamming
Ardışık	0,563509107	-	HFM	Hanning
Paralel	0,431757855	23,38%	HFM	Hanning
Ardışık	0,563604188	-	HFM	Butterworth
Paralel	0,400996256	28,85%	HFM	Butterworth
Ardışık	0,577522874	-	HFM	Gaussian
Paralel	0,418365407	27,56%	HFM	Gaussian

**Çizelge A.3 :** Urfa tarım arazisi görüntüsü için ardışık ve paralel programlamalı görüntü birleştirme hesaplama süreleri.

PROGRAM	HESAP SÜRESİ (sn)	KAZANÇ	YÖNTEM	SÜZGEÇ
Ardışık	0,725189137	-	DFT	İdeal
Paralel	0,506359959	30,18%	DFT	İdeal
Ardışık	0,723689294	-	DFT	Hamming
Paralel	0,531789613	26,52%	DFT	Hamming
Ardışık	0,723751259	-	DFT	Hanning
Paralel	0,524614525	27,51%	DFT	Hanning
Ardışık	0,722961497	-	DFT	Butterworth
Paralel	0,502335691	30,52%	DFT	Butterworth
Ardışık	0,731311679	-	DFT	Gaussian
Paralel	0,52280314	28,51%	DFT	Gaussian
Ardışık	0,045757031	-	IHS	-
Paralel	0,042492771	7,13%	IHS	-
Ardışık	0,334801412	-	DFT + IHS	İdeal
Paralel	0,278457618	16,83%	DFT + IHS	İdeal
Ardışık	0,337093425	-	DFT + IHS	Hamming
Paralel	0,309013605	8,33%	DFT + IHS	Hamming
Ardışık	0,334816384	-	DFT + IHS	Hanning
Paralel	0,306354499	8,50%	DFT + IHS	Hanning
Ardışık	0,329865575	-	DFT + IHS	Butterworth
Paralel	0,288505626	12,54%	DFT + IHS	Butterworth
Ardışık	0,329064798	-	DFT + IHS	Gaussian
Paralel	0,29987452	8,87%	DFT + IHS	Gaussian
Ardışık	0,671327233	-	Lab	-
Paralel	0,534682894	20,35%	Lab	-
Ardışık	0,947151756	-	DFT + Lab	İdeal

Paralel	0,792220092	16,36%	DFT + Lab	İdeal
Ardışık	0,952016759	-	DFT + Lab	Hamming
Paralel	0,817238092	14,16%	DFT + Lab	Hamming
Ardışık	0,95049367	-	DFT + Lab	Hanning
Paralel	0,820634365	13,66%	DFT + Lab	Hanning
Ardışık	0,95743053	-	DFT + Lab	Butterworth
Paralel	0,80840199	15,57%	DFT + Lab	Butterworth
Ardışık	0,948421168	-	DFT + Lab	Gaussian
Paralel	0,810973382	14,49%	DFT + Lab	Gaussian
Ardışık	0,039584923	-	Brovey	-
Paralel	0,038566971	2,57%	Brovey	-
Ardışık	0,583486843	-	HFM	İdeal
Paralel	0,393806648	32,51%	HFM	İdeal
Ardışık	0,56883347	-	HFM	Hamming
Paralel	0,415352774	26,98%	HFM	Hamming
Ardışık	0,574534965	-	HFM	Hanning
Paralel	0,42540741	25,96%	HFM	Hanning
Ardışık	0,568885589	-	HFM	Butterworth
Paralel	0,400409842	29,62%	HFM	Butterworth
Ardışık	0,575558066	-	HFM	Gaussian
Paralel	0,420775795	26,89%	HFM	Gaussian

**Çizelge A.4 : SAM kalite değerlendirme sonuçları.**

Görüntü	YÖNTEM	SÜZGEÇ	SAM Bant 1	SAM Bant 2	SAM Bant 3
Gebze	DFT	İdeal	14,27163821	13,79119095	12,38639554
Gebze	DFT	Hamming	14,96835924	14,41811103	12,96413936
Gebze	DFT	Hanning	15,08114776	14,52025215	13,05968779
Gebze	DFT	Butterworth	12,66695054	12,26044848	11,01832661
Gebze	DFT	Gaussian	13,09052701	12,68354191	11,39789152
Gebze	IHS	-	14,71766181	14,9496278	15,92690329
Gebze	DFT+IHS	İdeal	12,95226445	13,14824057	14,00574483
Gebze	DFT+IHS	Hamming	13,53127907	13,73606323	14,62709261
Gebze	DFT+IHS	Hanning	13,62601128	13,83218199	14,72876035
Gebze	DFT+IHS	Butterworth	11,50720526	11,68373678	12,45351072
Gebze	DFT+IHS	Gaussian	11,90809278	12,0902647	12,88511624
Gebze	Lab	-	16,19630349	17,19489904	16,87114955
Gebze	DFT+Lab	İdeal	14,61453574	15,5710841	15,26726896
Gebze	DFT+Lab	Hamming	15,35104884	16,28985871	15,99409312
Gebze	DFT+Lab	Hanning	15,46043412	16,40046774	16,10459944
Gebze	DFT+Lab	Butterworth	13,00703376	13,84946998	13,56790299
Gebze	DFT+Lab	Gaussian	13,4346682	14,32326679	14,03179434
Gebze	Brovey	-	15,00713738	15,31384673	15,28160245
Gebze	HFM	İdeal	17,10736527	17,51360787	18,11341872



Gebze	HFM	Hamming	19,49489261	20,03144713	20,72740465
Gebze	HFM	Hanning	19,85350162	20,39527276	21,07368949
Gebze	HFM	Butterworth	15,69153682	16,18019405	17,09027958
Gebze	HFM	Gaussian	15,82367086	16,27801029	17,10209835
İstanbul	DFT	İdeal	14,3876668	6,035829406	4,284190117
İstanbul	DFT	Hamming	14,93012813	6,234719508	4,426340802
İstanbul	DFT	Hanning	15,01707058	6,269066525	4,451105225
İstanbul	DFT	Butterworth	12,97444119	5,418331797	3,849527973
İstanbul	DFT	Gaussian	13,41918158	5,61533424	3,989734163
İstanbul	IHS	-	10,57788075	8,105201688	7,464786153
İstanbul	DFT+IHS	İdeal	9,375416278	7,222682007	6,659033435
İstanbul	DFT+IHS	Hamming	9,701649339	7,458391542	6,873923657
İstanbul	DFT+IHS	Hanning	9,755786427	7,498947795	6,911133814
İstanbul	DFT+IHS	Butterworth	8,435323309	6,492413474	5,984648823
İstanbul	DFT+IHS	Gaussian	8,737022468	6,728439972	6,202891277
İstanbul	Lab	-	13,16787779	10,09520052	9,343974601
İstanbul	DFT+Lab	İdeal	11,09154164	10,28391149	8,466710668
İstanbul	DFT+Lab	Hamming	11,68091764	10,31905455	8,724634922
İstanbul	DFT+Lab	Hanning	11,74828912	10,34281314	8,766086561
İstanbul	DFT+Lab	Butterworth	10,24200354	9,212691566	7,569868937
İstanbul	DFT+Lab	Gaussian	10,4882912	9,611952111	7,872840897
İstanbul	Brovey	-	9,376107196	8,386672845	8,126835553
İstanbul	HFM	İdeal	11,84006613	12,02682512	12,54309122
İstanbul	HFM	Hamming	12,7157042	13,17307221	13,42260524
İstanbul	HFM	Hanning	12,9286492	13,29834212	13,51208971
İstanbul	HFM	Butterworth	9,944627311	11,58072383	12,28054876
İstanbul	HFM	Gaussian	10,52629131	11,65281604	12,30978495
Urfa	DFT	İdeal	7,080390954	5,561431831	4,019965321
Urfa	DFT	Hamming	7,371835959	5,789976582	4,194152047
Urfa	DFT	Hanning	7,422102676	5,829577605	4,224430028
Urfa	DFT	Butterworth	6,272393248	4,919042724	3,550738494
Urfa	DFT	Gaussian	6,49627129	5,095437118	3,676142978
Urfa	IHS	-	5,5330747	6,555461771	7,291100033
Urfa	DFT+IHS	İdeal	4,909524506	5,815877752	6,471879805
Urfa	DFT+IHS	Hamming	5,106025548	6,048082332	6,729312953
Urfa	DFT+IHS	Hanning	5,140080538	6,088327516	6,773966339
Urfa	DFT+IHS	Butterworth	4,344626259	5,147764366	5,729391138
Urfa	DFT+IHS	Gaussian	4,501841763	5,333752977	5,936177552
Urfa	Lab	-	8,021597574	8,30445461	8,572755639
Urfa	DFT+Lab	İdeal	7,042927339	7,691805948	7,555242397
Urfa	DFT+Lab	Hamming	7,351118945	7,97977298	7,887046012
Urfa	DFT+Lab	Hanning	7,39667556	8,025130504	7,937214777
Urfa	DFT+Lab	Butterworth	6,291306979	6,865842655	6,706589541
Urfa	DFT+Lab	Gaussian	6,513270546	7,116009461	6,959311545

Urfa	Brovey	-	6,3410301	6,439922646	6,399898886
Urfa	HFM	İdeal	6,905907985	7,145409343	8,868270264
Urfa	HFM	Hamming	7,832872101	8,427098708	9,950848703
Urfa	HFM	Hanning	8,018087935	8,591890369	10,06749348
Urfa	HFM	Butterworth	5,845203335	6,655977589	8,738706897
Urfa	HFM	Gaussian	6,014063879	6,653137203	8,671672646

**Çizelge A.5 : RMSE kalite değerlendirme sonuçları.**

Görüntü	YÖNTEM	SÜZGEÇ	RMSE Bant 1	RMSE Bant 2	RMSE Bant 3
Gebze	DFT	İdeal	0,203815071	0,193836857	0,162588774
Gebze	DFT	Hamming	0,212787897	0,201835103	0,169637666
Gebze	DFT	Hanning	0,214346142	0,203227402	0,170864994
Gebze	DFT	Butterworth	0,179916299	0,171449726	0,144030205
Gebze	DFT	Gaussian	0,186329516	0,177715093	0,149227741
Gebze	IHS	-	0,206638496	0,206638496	0,206638496
Gebze	DFT+IHS	İdeal	0,184531994	0,184533251	0,18452792
Gebze	DFT+IHS	Hamming	0,192045472	0,192045472	0,192045439
Gebze	DFT+IHS	Hanning	0,193353719	0,19335372	0,193353691
Gebze	DFT+IHS	Butterworth	0,163222249	0,16322234	0,163222176
Gebze	DFT+IHS	Gaussian	0,169206386	0,169207564	0,169207071
Gebze	Lab	-	0,249616106	0,236814599	0,224551189
Gebze	DFT+Lab	İdeal	0,241531493	0,213800584	0,209733847
Gebze	DFT+Lab	Hamming	0,250525671	0,223258136	0,219252209
Gebze	DFT+Lab	Hanning	0,252108961	0,224694018	0,220811014
Gebze	DFT+Lab	Butterworth	0,214201806	0,19260572	0,184245546
Gebze	DFT+Lab	Gaussian	0,221798316	0,198234787	0,191266395
Gebze	Brovey	-	0,210573224	0,211630468	0,198478741
Gebze	HFM	İdeal	0,264799017	0,273342863	0,292286381
Gebze	HFM	Hamming	0,325931654	0,338226567	0,357539444
Gebze	HFM	Hanning	0,335210306	0,347779775	0,366430691
Gebze	HFM	Butterworth	0,242607965	0,252539986	0,276953367
Gebze	HFM	Gaussian	0,242693586	0,251881261	0,274772866
İstanbul	DFT	İdeal	0,06982875	0,037621888	0,028940178
İstanbul	DFT	Hamming	0,072103553	0,038827167	0,029887469
İstanbul	DFT	Hanning	0,072503074	0,039039086	0,030053955
İstanbul	DFT	Butterworth	0,062665797	0,033744566	0,02599271
İstanbul	DFT	Gaussian	0,064960468	0,034985403	0,026944793
İstanbul	IHS	-	0,050419759	0,050419759	0,050419759
İstanbul	DFT+IHS	İdeal	0,045083677	0,045083812	0,045083832
İstanbul	DFT+IHS	Hamming	0,046508645	0,046508643	0,046508643
İstanbul	DFT+IHS	Hanning	0,046759135	0,046759133	0,046759132
İstanbul	DFT+IHS	Butterworth	0,040477334	0,040477334	0,040477334

İstanbul	DFT+IHS	Gaussian	0,041971155	0,041971154	0,041971154
İstanbul	Lab	-	0,081688062	0,081414238	0,064834879
İstanbul	DFT+Lab	İdeal	0,077468657	0,079680175	0,059401389
İstanbul	DFT+Lab	Hamming	0,078798525	0,080354688	0,06103483
İstanbul	DFT+Lab	Hanning	0,079008313	0,0804798	0,061314194
İstanbul	DFT+Lab	Butterworth	0,072877404	0,076339575	0,052991116
İstanbul	DFT+Lab	Gaussian	0,074411883	0,077487424	0,055171793
İstanbul	Brovey	-	0,044736106	0,052266305	0,055113998
İstanbul	HFM	İdeal	0,122307527	0,07731004	0,084444824
İstanbul	HFM	Hamming	0,134457846	0,085701813	0,089866754
İstanbul	HFM	Hanning	0,136473278	0,086633313	0,090430108
İstanbul	HFM	Butterworth	0,114490251	0,074341556	0,082823075
İstanbul	HFM	Gaussian	0,115897404	0,074761644	0,083016746
Urfa	DFT	İdeal	0,093066709	0,061543179	0,039890634
Urfa	DFT	Hamming	0,096845732	0,064052085	0,041611537
Urfa	DFT	Hanning	0,097505543	0,064490024	0,041911854
Urfa	DFT	Butterworth	0,082339752	0,054392981	0,035220385
Urfa	DFT	Gaussian	0,085316439	0,056358531	0,036469466
Urfa	IHS	-	0,072343826	0,072343826	0,072343826
Urfa	DFT+IHS	İdeal	0,064379597	0,064379516	0,064379418
Urfa	DFT+IHS	Hamming	0,066929579	0,066929575	0,06692957
Urfa	DFT+IHS	Hanning	0,067374952	0,067374948	0,067374944
Urfa	DFT+IHS	Butterworth	0,056936218	0,056936217	0,056936215
Urfa	DFT+IHS	Gaussian	0,059010246	0,059010244	0,059010241
Urfa	Lab	-	0,109892607	0,093080824	0,086130767
Urfa	DFT+Lab	İdeal	0,099078575	0,086040179	0,076323959
Urfa	DFT+Lab	Hamming	0,103065776	0,089019814	0,079688706
Urfa	DFT+Lab	Hanning	0,103672021	0,089485044	0,080202899
Urfa	DFT+Lab	Butterworth	0,088845175	0,077805845	0,067590974
Urfa	DFT+Lab	Gaussian	0,091874045	0,080273013	0,070188816
Urfa	Brovey	-	0,082871742	0,071077836	0,063552408
Urfa	HFM	İdeal	0,099186201	0,108106024	0,164045728
Urfa	HFM	Hamming	0,106273182	0,125822338	0,176976165
Urfa	HFM	Hanning	0,108116239	0,128087047	0,178411046
Urfa	HFM	Butterworth	0,087839723	0,103822781	0,163483748
Urfa	HFM	Gaussian	0,090148628	0,103141731	0,162419273

**Çizelge A.6 : RASE ve ERGAS kalite değerlendirme sonuçları.**

Görüntü	YÖNTEM	SÜZGEÇ	RASE	ERGAS
Gebze	DFT	İdeal	6,06217338	1,515543345
Gebze	DFT	Hamming	6,321929772	1,580482443
Gebze	DFT	Hanning	6,367111051	1,591777763
Gebze	DFT	Butterworth	5,360479114	1,340119779

Gebze	DFT	Gaussian	5,553946841	1,38848671
Gebze	IHS	-	6,728919738	1,682229935
Gebze	DFT+IHS	İdeal	6,009014179	1,502253545
Gebze	DFT+IHS	Hamming	6,253716081	1,56342902
Gebze	DFT+IHS	Hanning	6,29631756	1,57407939
Gebze	DFT+IHS	Butterworth	5,315124995	1,328781249
Gebze	DFT+IHS	Gaussian	5,510011587	1,377502897
Gebze	Lab	-	7,696877046	1,924219262
Gebze	DFT+Lab	İdeal	7,19918772	1,79979693
Gebze	DFT+Lab	Hamming	7,502336381	1,875584095
Gebze	DFT+Lab	Hanning	7,551990486	1,887997622
Gebze	DFT+Lab	Butterworth	6,396025961	1,59900649
Gebze	DFT+Lab	Gaussian	6,615727465	1,653931866
Gebze	Brovey	-	6,726005342	1,681501336
Gebze	HFM	İdeal	9,052870412	2,263217603
Gebze	HFM	Hamming	11,13365445	2,783413611
Gebze	HFM	Hanning	11,43364506	2,858411264
Gebze	HFM	Butterworth	8,433104617	2,108276154
Gebze	HFM	Gaussian	8,399016292	2,099754073
İstanbul	DFT	İdeal	1,542564016	0,385641004
İstanbul	DFT	Hamming	1,592675693	0,398168923
İstanbul	DFT	Hanning	1,601479621	0,400369905
İstanbul	DFT	Butterworth	1,384330674	0,346082669
İstanbul	DFT	Gaussian	1,435067963	0,358766991
İstanbul	IHS	-	1,641855305	0,410463826
İstanbul	DFT+IHS	İdeal	1,468095899	0,367023975
İstanbul	DFT+IHS	Hamming	1,514494813	0,378623703
İstanbul	DFT+IHS	Hanning	1,522651681	0,38066292
İstanbul	DFT+IHS	Butterworth	1,318092885	0,329523221
İstanbul	DFT+IHS	Gaussian	1,366737239	0,34168431
İstanbul	Lab	-	2,468591499	0,617147875
İstanbul	DFT+Lab	İdeal	2,348971557	0,587242889
İstanbul	DFT+Lab	Hamming	2,387207244	0,596801811
İstanbul	DFT+Lab	Hanning	2,393688026	0,598422006
İstanbul	DFT+Lab	Butterworth	2,198415416	0,549603854
İstanbul	DFT+Lab	Gaussian	2,249278738	0,562319685
İstanbul	Brovey	-	1,668304573	0,417076143
İstanbul	HFM	İdeal	3,107562339	0,776890585
İstanbul	HFM	Hamming	3,391354065	0,847838516
İstanbul	HFM	Hanning	3,430962514	0,857740628
İstanbul	HFM	Butterworth	2,966878106	0,741719526
İstanbul	HFM	Gaussian	2,990040044	0,747510011
Urfa	DFT	İdeal	2,170875623	0,542718906
Urfa	DFT	Hamming	2,25985141	0,564962852

Urfa	DFT	Hanning	2,275384389	0,568846097
Urfa	DFT	Butterworth	1,919576169	0,479894042
Urfa	DFT	Gaussian	1,988789526	0,497197381
Urfa	IHS	-	2,35578465	0,588946162
Urfa	DFT+IHS	İdeal	2,096436659	0,524109165
Urfa	DFT+IHS	Hamming	2,179476441	0,54486911
Urfa	DFT+IHS	Hanning	2,19397945	0,548494862
Urfa	DFT+IHS	Butterworth	1,854055454	0,463513864
Urfa	DFT+IHS	Gaussian	1,921593504	0,480398376
Urfa	Lab	-	3,128772831	0,782193208
Urfa	DFT+Lab	İdeal	2,828986306	0,707246577
Urfa	DFT+Lab	Hamming	2,940810659	0,735202665
Urfa	DFT+Lab	Hanning	2,957972889	0,739493222
Urfa	DFT+Lab	Butterworth	2,534844906	0,633711226
Urfa	DFT+Lab	Gaussian	2,622343412	0,655585853
Urfa	Brovey	-	2,353787018	0,588446754
Urfa	HFM	İdeal	4,214315314	1,053578829
Urfa	HFM	Hamming	4,626089894	1,156522474
Urfa	HFM	Hanning	4,682687701	1,170671925
Urfa	HFM	Butterworth	4,085760258	1,021440064
Urfa	HFM	Gaussian	4,079161301	1,019790325

---



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Burak KURT  
**E-posta** : info@burakkurt.net

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Telekomünikasyon Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Uygulamaları, Bilgi ve Haberleşme Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009 - 2012 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı ve İ.T.Ü. Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezinde asistan öğrenci olarak görev aldı
- 2012 - 2014 yılları arasında Vodafone 'da Katma Değerli Sistemler Uzmanı olarak IT sistemleri alanında çalıştı.
- 2014 - 2016 yılları arasında ASELSAN 'da Kamu Güvenliği Profesyonel Haberleşme Sistemleri alanında Sistem Tasarım Mühendisi olarak çalıştı.
- 2016 'dan bu yana Ziraat Teknoloji bünyesinde Bulut Platformları ve Sanallaştırma Teknolojileri alanında Sistem Mühendisi olarak görev almaktadır.