

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE  
FREKANS BÖLGESİ FİLTRELERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kübra Nur BULUT  
(705091028)**

**İletişim Sistemleri Anabilim Dalı**

**Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Hamdi KAYRAN**

**ARALIK 2016**



İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705091028 numaralı yüksek lisans öğrencisi Kübra Nur BULUT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FREKANS BÖLGESİ FİLTRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Ahmet Hamdi KAYRAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Sedef KENT PINAR** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Hacı İLHAN** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **25 Kasım 2016**  
**Savunma Tarihi** : **23 Aralık 2016**





*Sevgili babama,*



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca ve tez çalışmam süresince desteğini bir an olsun esirgemeyen, engin hayat tecrübesi ve eşsiz sohbeti ile her daim öğrencilerine kapısı açık olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Hamdi Kayran'a en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bilgi, tecrübe ve motivasyonu ile her daim yanımda olan İTÜ Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Araştırma Merkezi (UHUZAM) Sistem Yöneticisi Sayın Alper Akoğuz'a ve Sadık Bozkurt'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Verilerin hesaplanması için laboratuvar ortamlarını erişime açarak tezimin gerçekleşmesini her anlamda kolaylaştıran TÜBİTAK BİLGEM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü Müdür Yardımcısı Sayın Dr. Yıldırım Bahadırlar Bey'e, B3LAB Yöneticisi Sayın Özleyiş Bayoğlu Hanım'a ve Esra Çelik'e; yol gösterici fikirlerini paylaşan Sayın Murat Akgül ve Ömer Ertekin'e; manevi ve teknik desteğini esirgemeyen TÜBİTAK OKTEM Laboratuvarı çalışanı sevgili kardeşim Yasir Emre Bulut'a; motive edici destekleri için TÜBİTAK Bilgi Sistemleri ve Tesis Güvenlik Birimi Yöneticisi Sayın Sezer Pal, çalışma arkadaşlarım Emine Bodur ve Kenan Bayındır'a teşekkür ederim.

Medyasoft çalışanları Hayrullah Güven, Özlem Kozan, Özge Kesgin, Emre Pehlivan ve Mehmet Ali Çokyaşara'a da desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Her daim yüksek enerjisi ve pozitif bakış açısı ile bu tezi benim için hayal olmaktan çıkarıp gerçekleşebilir kılmaktaki eşsiz desteği ve motivasyonu için arkadaşım Selma Alioğlu'na; duaları ve moral verici sözleri için tüm yakın arkadaşlarıma;

Son olarak kendini geliştirmenin ve faydalı üretkenliğin her yaşta ve her daim mümkün olduğunu bizzat kendileri örnek olarak öğreten ve bu anlamda hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan anne ve babam başta olmak üzere sevgili aileme en derin teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2016

Kübra Nur Bulut  
(Elektronik Haberleşme 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>
<b>2. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>3</b>
2.1 Görüntü Birleştirme Modeli .....	3
2.2 Görüntü Birleştirme Algoritması .....	4
2.2.1 Modülasyon bazlı yöntemler .....	5
2.2.2 Bileşen değişimi bazlı yöntemleri .....	6
2.2.3 Çoklu çözünürlük analizi bazlı yöntemleri .....	10
2.2.3.1 Fourier serileri .....	11
2.2.3.2 Fourier dönüşümü .....	12
2.2.3.3 Ayrık Fourier dönüşümü (DFT).....	13
2.2.3.4 Hızlandırılmış Fourier dönüşümü (FFT).....	14
2.2.3.5 Filtre (süzgeç) tipleri .....	15
2.2.3.6 Pencere tipleri.....	17
<b>3. KALİTE METRİKLERİ.....</b>	<b>19</b>
3.1 Karesel Ortalama Hata (RMSE).....	19
3.2 Spektral Açık Eşleştirici (SAM) .....	19
3.3 Göreceli Ortalama Spektral Hata (RASE) .....	20
3.4 Göreceli Boyutsuz Global Sentez Hatası (ERGAS) .....	20
3.5 Uluslararası Görüntü Kalite Endeksi (UIQI) .....	21
3.6 Referansız Kalite Metriği (QNR).....	22
<b>4. DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>23</b>
4.1 Çalışma Bölgesi ve Teknik Özellikler .....	23
4.2 Elde Edilen Sonuçlar .....	25
4.2.1 Brovey yöntemi sonuçları .....	27
4.2.2 IHS yöntemi sonuçları .....	30
4.2.3 PCA sonuçları .....	34
4.2.4 İdeal FFT sonuçları .....	37
4.2.5 Gaussian FFT sonuçları .....	41
4.2.6 Butterworth N1 FFT sonuçları .....	45
4.2.7 Butterworth N2 FFT sonuçları .....	49
4.2.8 Karşılaştırmalı sonuçlar .....	53

<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>61</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>



## KISALTMALAR

<b>PAN</b>	: Pankromatik
<b>MS</b>	: Multispektral
<b>F</b>	: Fusion
<b>PSP</b>	: Pansharpened
<b>BT</b>	: Brovey Transform
<b>WT</b>	: Wavelet Transform
<b>PCA</b>	: Principle Component Analysis
<b>IHS</b>	: Intensity Hue Saturation
<b>FT</b>	: Fourier Transform
<b>DFT</b>	: Discrete Fourier Transform
<b>FFT</b>	: Fast Fourier Transform
<b>CTFT</b>	: Continuous Time Fourier Transform
<b>DTFT</b>	: Discrete Time Fourier Transform
<b>CC</b>	: Correlation Coefficient
<b>SNR</b>	: Signal to Noise Ratio
<b>LSR</b>	: Low Spatial Resolution
<b>HSR</b>	: High Spatial Resolution
<b>LPF</b>	: Low Pass Filter
<b>HPF</b>	: High Pass Filter
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration
<b>SPOT</b>	: Satellite/Système Pour l'Observation de la Terre
<b>SAM</b>	: Spectral Angle Mapper
<b>ERGAS</b>	: Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse
<b>RMSE</b>	: Root Mean Square Error
<b>UIQI</b>	: Universal Image Quality Index
<b>RASE</b>	: Relative Average Spectral Error
<b>QNR</b>	: The Quality with No Reference
<b>inHS</b>	: Intensitywise Histogram Scratching
<b>bdHS</b>	: Bandwise Histogram Scratching
<b>noHs</b>	: No Histogram Scratching



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 4.1 : SPOT uydusu teknik özellikleri.....	25
Çizelge 4.1 : Tablolarda yer alan kısaltmaların açıklamaları.....	26
Çizelge 4.2 : RMSE metriğine göre Brovey sonuçları.....	27
Çizelge 4.3 : SAM metriğine göre Brovey sonuçları.....	27
Çizelge 4.4 : RASE metriğine göre Brovey sonuçları.....	28
Çizelge 4.5 : ERGAS metriğine göre Brovey sonuçları.....	28
Çizelge 4.6 : UIQI metriğine göre Brovey sonuçları.....	28
Çizelge 4.7 : QNR metriğine göre Brovey sonuçları.....	29
Çizelge 4.8 : Tüm Brovey sonuçları.....	30
Çizelge 4.9 : RMSE metriğine göre IHS sonuçları.....	30
Çizelge 4.10 : SAM metriğine göre IHS sonuçları.....	31
Çizelge 4.11 : RASE metriğine göre IHS sonuçları.....	31
Çizelge 4.12 : ERGAS metriğine göre IHS sonuçları.....	32
Çizelge 4.13 : UIQI metriğine göre IHS sonuçları.....	32
Çizelge 4.14 : QNR metriğine göre IHS sonuçları.....	33
Çizelge 4.15 : Tüm IHS sonuçları.....	33
Çizelge 4.16 : RMSE göre PCA sonuçları.....	34
Çizelge 4.17 : SAM göre PCA sonuçları.....	34
Çizelge 4.18 : RASE göre PCA sonuçları.....	35
Çizelge 4.19 : ERGAS göre PCA sonuçları.....	35
Çizelge 4.20 : UIQI göre PCA sonuçları.....	35
Çizelge 4.21 : QNR göre PCA sonuçları.....	36
Çizelge 4.22 : Tüm PCA sonuçları.....	36
Çizelge 4.23 : RMSE metriğine göre ideal FFT sonuçları.....	37
Çizelge 4.24 : SAM metriğine göre ideal FFT sonuçları.....	37
Çizelge 4.25 : RASE metriğine göre ideal FFT sonuçları.....	38
Çizelge 4.26 : ERGAS metriğine göre ideal FFT sonuçları.....	38
Çizelge 4.27 : UIQI metriğine göre ideal FFT sonuçları.....	39
Çizelge 4.28 : QNR metriğine göre ideal FFT sonuçları.....	39
Çizelge 4.29 : Tüm ideal FFT sonuçları.....	40
Çizelge 4.30 : RMSE metriğine göre Gaussian FFT sonuçları.....	41
Çizelge 4.31 : SAM metriğine göre Gaussian FFT sonuçları.....	41
Çizelge 4.32 : RASE metriğine göre Gaussian FFT sonuçları.....	42
Çizelge 4.33 : ERGAS metriğine göre Gaussian FFT sonuçları.....	42
Çizelge 4.34 : UIQI metriğine göre Gaussian FFT sonuçları.....	43
Çizelge 4.35 : QNR metriğine göre Gaussian FFT sonuçları.....	44
Çizelge 4.36 : Tüm Gaussian FFT sonuçları.....	44
Çizelge 4.37 : RMSE metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları.....	45

Çizelge 4.38 : SAM metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları.....	45
Çizelge 4.39 : RASE metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları.....	46
Çizelge 4.40 : ERGAS metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları.....	47
Çizelge 4.41 : UIQI metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları.....	47
Çizelge 4.42 : QNR metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları.....	48
Çizelge 4.43 : Tüm metriklere göre Butterworth N1 FFT sonuçları.....	48
Çizelge 4.44 : RMSE göre Butterworth N2 FFT sonuçları.....	49
Çizelge 4.45 : SAM göre Butterworth N2 FFT sonuçları.....	49
Çizelge 4.46 : RASE göre Butterworth N2 FFT sonuçları.....	50
Çizelge 4.47 : ERGAS göre Butterworth N2 FFT sonuçları.....	51
Çizelge 4.48 : UIQI göre Butterworth N2 FFT sonuçları.....	51
Çizelge 4.49 : QNR göre Butterworth N2 FFT sonuçları.....	52
Çizelge 4.50 : Tüm metriklere göre Butterworth N2 FFT sonuçları.....	53
Çizelge 4.51 : 1024x1024 uygulamada sonuçların karşılaştırması.....	53
Çizelge 4.52 : 1024x1024 uygulamada ERGAS sonuçları karşılaştırması.....	55
Çizelge 4.53 : QNR metriğine göre FFT yöntemlerin karşılaştırılması.....	55
Çizelge 4.54 : ERGAS metriğine göre FFT yöntemlerin karşılaştırması.....	56
Çizelge 4.55 : Tüm metriklere göre metotların en iyi sonuçları.....	57
Çizelge 4.56 : Tüm metriklere göre metotların karşılaştırmalı sonuçları.....	59

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Görüntü birleştirme algoritmasının modellenmesi.....	4
Şekil 2.2 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi .....	5
Şekil 2.3 : IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi.....	7
Şekil 2.4 : PCA dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi .....	9
Şekil 2.5 : Temel, ikinci ve üçüncü harmoniğin toplamı.....	12
Şekil 2.6 : MS inceleme görüntüsü.....	23
Şekil 2.7 : PAN inceleme görüntüsü.....	24





## **OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE FREKANS BÖLGESİ FİLTRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

### **ÖZET**

Her geçen gün daha da gelişmekte olan uydu teknolojilerine paralel olarak uzaktan algılama alanındaki uygulamalarda da önemli gelişmeler gözlenmektedir. Ancak fiziksel şartlardan kaynaklanan kısıtlamalar nedeni ile optik algılayıcıların mekansal ve spektral çözünürlükleri arasında farklar oluşmaktadır. Algılanmış tek bir görüntüde en iyi sonuçları elde etmek mümkün olamamaktadır.

Pankromatik görüntüler yüksek mekansal çözünürlüklere sahipken, çok bantlı multispektral görüntüler yüksek spektral çözünürlüğe sahiptir. Bu problemi çözmek ve yüksek mekansal ve spektral çözünürlüklü renkli görüntüler elde etmek için görüntü birleştirme yöntemleri önem kazanmaktadır. Birleştirilmiş görüntüler çok daha güvenilir ve yorumlanabilir sonuçlar üretmekte, gözlem alanları için detaylı veriye sahip görüntüler elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada görüntü birleştirme yöntemleri; akademik gruplarca genel kabul görmüş olan modülasyon bazlı, bileşen değişimi bazlı, çoklu çözünürlük analizi bazlı başlıkları altında incelenmiştir. Modülasyon bazlı yöntemlerden Brovey yöntemi incelenmiş olup, bileşen değişim bazlı yöntemlerden PCA, IHS yöntemleri ele alınmıştır. Çoklu çözünürlük analizi bazlı yöntemlerden ise frekans bölgesindeki süzgeçleme yöntemleri ağırlıklı olarak incelenmiş ve aralarındaki ilişkiye göre sonuçlar yorumlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar literatürde kabul görmüş olan kalite değerlendirme metrikleri ışığında incelenmiş ve metriklerin ideal değerlerine göre sonuçlar yorumlanmıştır.

Sonuçların yorumlanmasıyla görüntü birleştirme yöntemleri ile ilgili olarak araştırmalarda ve çalışmalarda kullanılabilecek alternatif bir model geliştirilmesi amaçlanmaktadır.



## **COMPARISION OF FREQUENCY DOMAIN FILTERS IN IMAGE FUSION**

### **SUMMARY**

In parallel with the ever-evolving satellite technologies, significant improvements are observed in applications in the field of remote sensing. However, there are differences between the spatial and spectral resolutions of optical sensors due to restrictions caused by physical conditions. It is not possible to obtain the best results in a single perceived image.

Panchromatic images have high spatial resolutions, while multiband multispectral images have high spectral resolution. To solve this problem and to obtain high spatial and spectral resolution color images, image-combining methods are gaining importance. Consolidated images produce much more reliable and interpretable results and images with detailed data can be obtained for observation areas.

In this study, image fusion methods had been investigated under the headings of modulation-based, component-based, multi-resolution-based, which are generally accepted by academic groups. While Brovey method is discussed under modulation – based; the PCA and IHS methods are discussed under component-based methods. In multi-resolution analysis, frequency domain filtering methods have been studied extensively and then finally the results are interpreted according to the relation between them.

The obtained results are examined in the light of the accepted quality evaluation metrics in the literature and the results are interpreted according to the ideal values. The interpretation of the results is intended to develop an alternative model which can be used in researches and studies on the integration of SPOT 5 satellite images.

As the optical earth's orbits rotate in their polar orbits, the orbit around the earth, the angles of turning right and left, the camera and optics on them, and so on. Depending on the constraints of the equipment, a strip of about 500-1000 km travels and does not turn.

The captured images are sent to the most optical satellite platforms without being processed and converted into images on the ground systems. The satellite image data transmitted from the radio frequency terminal is first subjected to radiometric correction, followed by geometric correction. Coordinate correction and satellite image data fitted to the appropriate coordinate plane are transformed into workable formata on many commercial satellite image processing software and archived.

The development of analytical and digital image fusion techniques has gained momentum as the use of remote sensing data for many disciplines in the light of developing technology has increased. Within this scope, a variety of researches and studies have been carried out on the development of models that produce results.

Multiband image with high spatial and spectral resolution can be obtained by combining single band panchromatic images with multispectral multispectral images. A very different model was introduced from 1980 to be used during this assembly process, and detailed studies were carried out in this context. The spatial and spectral values of the resulting images are interpreted as having the most inclusive values and different metric values are used for this.

In this study, comparative analyzes of Fourier domain based models were made and the results were interpreted according to different metric values. The results obtained in this context are interpreted and it is aimed to develop an alternative model to be used in researches and studies related to the merging of SPOT 5 satellite images.

The steps of image fusion can be briefly summarized as follows:

- Co-registration of the MS image with the PAN image
- Sampling of MS and PAN view
- Magnifying the size of the MS image to the same size as the PAN image
- Image fusion: MS image addition of spatial information extracted from PAN image
- Finally, the evaluation of the results obtained with reference to the quality metrics by referring to the original MS image and interpretation of its achievements.

Because the MS and PAN image detection for the SPOT satellites is performed in the same time zone, the first step is not implemented since there is no time delay between the images.

Unlike previous studies, the image combining methods described in this study were evaluated according to the six-faceted image evaluation method, focusing on how the output will be affected if some decision steps included in the intermediate steps of the image combining technique are not based on a single option but on different options.

RMSE, SAM, RASE, ERGAS, UIQI and QNR metric are used for examining the results. SAM, RMSE, RASE and ERGAS methods are expressed as best when the results are 0; UIQI and QNR metrics are is best when the results are 1. The obtained results are compared according to these rules and detailed in tables.

When the obtained results are examined, it is observed that the performance coefficient does not develop in direct proportion with the resolution level. It has evolved from Brovey's method to wavelet transform and multiresolution methods. In parallel with the developments in satellite technologies, it is expected that existing methods will be inadequate. New methods for developing additional features through hbyrid models are still underway.

The most important problem encountered within the scope of the study is the large number of possibilities arising from the fact that there are too many options to be decided in the intermediate steps of the methods. MATLAB application tool is used in calculations.

More detailed analysis on this field in this data stream can be made much faster with modern methods such as parallel programming and large data analysis on sophisticated computer clusters and servers.

This thesis is based on the theoretical results and the new methods that will be modeled by going out from the theoretical results will be a pioneer of applications that can play an active role in many areas of our life...



## 1. GİRİŞ

Yeryüzüne ait ilk uzaysal görüntü Amerikan V-2 roketinin 24 Ekim 1946 tarihli uçuşundan elde edilmiştir. 23 Temmuz 1972'de Amerikan Uzay Ajansı (NASA) tarafından ilk yeryüzü gözlem uydusu Landsat 1'in uzaya fırlatılmasının üzerinden kırk yılı aşkın bir zaman geçmiştir. Zaman içerisinde gelişen teknolojilere paralel olarak uyduların algılama çözünürlükleri 60 m'den 1m'lere kadar düşmüştür.

Optik yer uyduları kutupsal yörüngelerinde dönerken dünya üzerinde buldukları yörünge, uydunun sağa ve sola dönüş açıları, üzerlerindeki kamera ve optik, vb. ekipmanların kısıtlamalarına göre yaklaşık 500-1000 km arasında bir şerit içinde hareket ederler ve istenen yöne dönüp o bölgenin fotoğrafını çekerler.

Uydu üzerinde kuzey-güney ve doğu-batı yönünde yerleştirilmiş algılayıcılar hedef bölge üzerinde genelde kuzeybatı koordinatından başlayarak güneydoğu koordinatında bitirecek şekilde tarama yaparlar. Çekilen görüntüler çoğu optik uydu platformunda işlenmeden yere gönderilip yer sistemlerinde görüntü haline dönüştürülür. Radyo frekans terminalinden iletilen uydu görüntü verilerinin ilk önce radyometrik düzeltmesi, ardından geometrik düzeltmesi yapılır. Koordinat düzeltmesi ve uygun koordinat düzlemine oturtulan uydu görüntü verisi birçok ticari uydu görüntü işleyici yazılım üzerinde işlenebilir formata dönüştürülerek arşivlenir.

Çekilen optik görüntüler dünyamızı, çevremizi tanımaya, planlamamıza, afetler hakkında bilgi almamıza, afet öncesi analizlere, rekolte tahminine kadar; tarım ve orman arazilerinin sınıflandırılmasında, şehir bölge planlamalarında, madencilikte, GSM baz istasyonu planlamalarında, su seviyesi ve kirlilik analizlerinde, hava tahminlerinde, toprak sınıflandırmasında, askeri uygulamalarda, tanıma ve teşhis etmeye yönelik katma değerli ürünlerle hayatımıza girmiş birçok alanda kullanılmaktadır.

Gelişen teknolojinin ışığında uzaktan algılama verilerinin bir çok disiplin için kullanım olanaklarının artması ile analitik ve sayısal görüntü birleştirme tekniklerindeki gelişmeler ivme kazanmıştır. Bu kapsamda sonuçları üreten modellerin geliştirilmesi üzerine çok çeşitli araştırma ve çalışmalar yapılmıştır.

Uydu görüntüleri elektromanyetik spektrumun farklı bölümlerini içeren farklı mekansal, zamansal ve spektral çözünürlüğe sahip veriler sağlamaktadır (Pohl 1998). Landsat, SPOT, IKONOS, QuickBird ve Orbitview gibi bir çok uzaktan algılama uydusu yüksek mekansal çözünürlüklü tek bantlı pankromatik görüntü ve yüksek spektral çözünürlüklü çok bantlı görüntü elde etme teknolojisine sahiptir. Ancak uyduların fiziksel kısıtlamaları nedeni ile doğrudan tek bir görüntü üzerinde hem mekansal hem de spektral çözünürlüğü yüksek sonuçlar elde etmek mümkün olamamaktadır.

Yüksek mekansal ve spektral çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntü elde edilebilmesi ancak tek bantlı pankromatik görüntülerin çok bantlı multispektral görüntüler ile birleştirilmesi ile elde edilebilmektedir. Bu birleştirme işlemi sırasında kullanılmak üzere 1980'den günümüze çok farklı modeller ortaya koyulmuş ve bu kapsamda detaylı çalışmalar yapılmıştır. Sonuç görüntülerin kalitesi referans görüntülerin mekansal ve spektral değerleri en kapsayıcı değerlere sahip olmasına göre yorumlanmakta ve bunun için farklı metrik değerler kullanılmaktadır (Akoğuz, 2013).

Bu çalışmada bu kapsamda yapılmış olan modellerden özellikle Fourier domain bazlı modellerin karşılaştırma analizleri yapılmış ve farklı metrik değerlere göre sonuçları yorumlanmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar yorumlanarak SPOT 5 uydu görüntülerinin birleştirilmesi ile ilgili olarak araştırmalarda ve çalışmalarda kullanılmak üzere alternatif bir model geliştirilmesi amaçlanmaktadır.



## 2. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

### 2.1 Görüntü Birleştirme Modeli

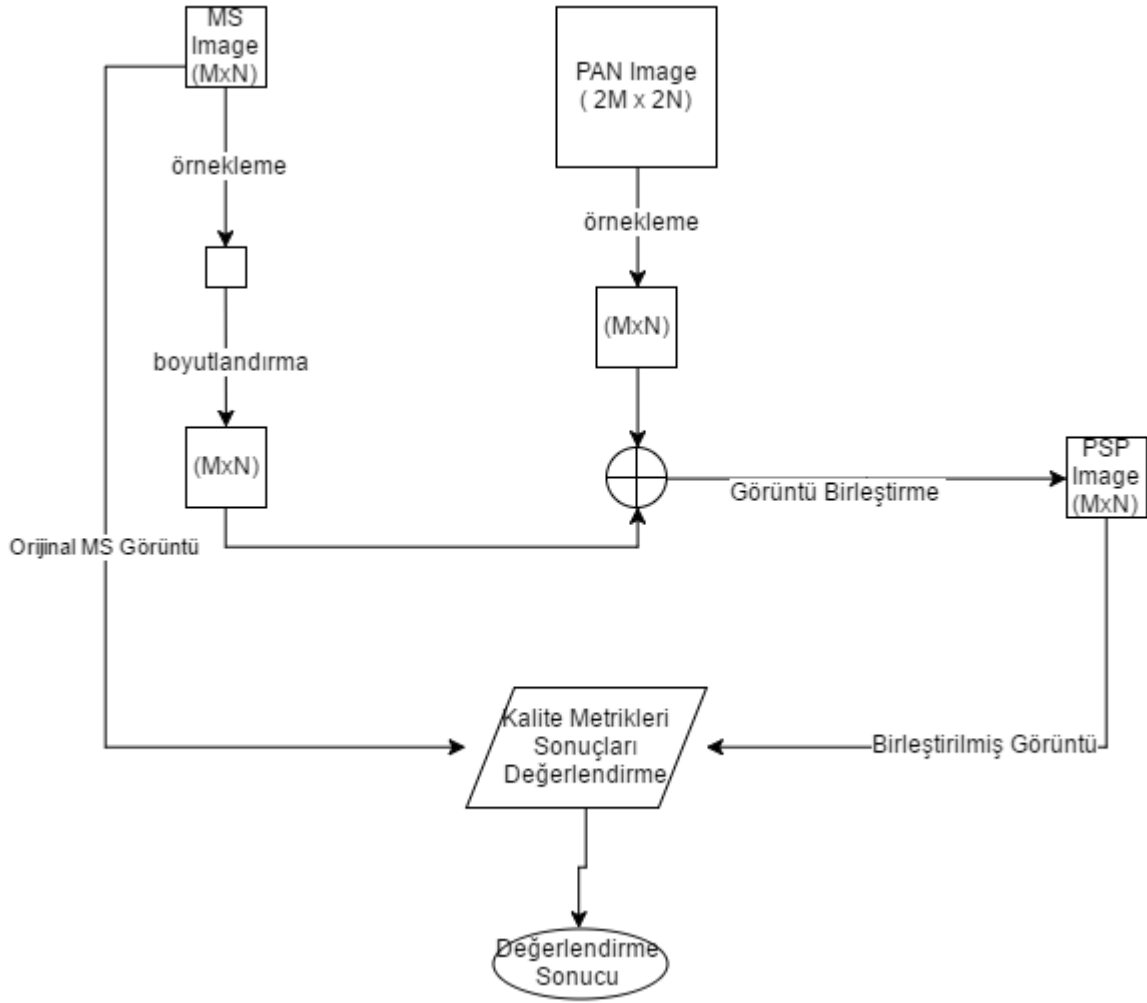
Literatürde “fusion” kelimesi "birleştirme, kombine etme, sinerji, entegrasyon gibi bir çok anlama gelecek şekilde kullanılmaktadır. En genel tanım olarak veri birleştirme (data fusion) farklı kaynaklardan alınmış olan verilerin belirli algoritmalar kullanılarak yeni bir veri seti oluşturmak üzere bir araya gelmesini sağlayan algoritmalar bütünüdür. Amacı veri kalitesinin artırılmasıdır.

Bu başlık altında incelenecek olan görüntü birleştirme (image fusion) ise birden fazla görüntüden belirli verilerin çekilerek yüksek kaliteli tek bir görüntünün elde edilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada düşük mekansal özellikler taşıyan multispektral görüntülerin, yüksek mekansal özellikleri taşıyan pankromatik görüntülerin ile birleştirilerek görüntü kalitesinin zenginleştirilmesi (pankeskinleştirme) bu kapsamda incelenmektedir.

Görüntü birleştirme işlemi adımları kısaca şu şekilde özetlenebilir (Şekil 2.1).

- MS görüntünün PAN görüntüyle eşçakıştırılması (co-registration)
- MS ve PAN görüntünün örneklenmesi
- MS görüntünün ölçeğinin büyütülerek PAN görüntü ile aynı boyuta getirilmesi
- Görüntü birleştirme: PAN görüntüden çıkartılan mekansal bilginin MS görüntüye eklenmesi
- Son olarak da elde edilen sonuçların orijinal MS görüntü referans alınarak kalite metriklerine göre değerlendirilmesi ve başarımlarının yorumlanması.

SPOT uydusu için MS ve PAN görüntü algılanması aynı zaman diliminde gerçekleştirildiği için görüntüler arasında zaman gecikmesi olmayacağından birinci adım gerçekleşmemiştir.



Şekil 2.1 : Görüntü birleştirme algoritmasının modellenmesi

## 2.2 Görüntü Birleştirme Algoritması

Elde edilen görüntülerin kullanım amaçlarına paralel olarak görüntü birleştirme yöntemlerinin çok çeşitli olması bir sınıflandırma ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Ancak literatür taramasından çıkan sonuçlara bakıldığında uzaktan algılama görüntü birleştirme topluluğu tarafından genel geçer kabul edilmiş bir model bulunmamaktadır (Collet, 2009).

Genel olarak uzaktan algılama topluluğunun kabul ettiği sınıflandırma metodu şu şekilde özetlenebilir:

- Modülasyon bazlı yöntemler
- Bileşen değişim bazlı yöntemler
- Çoklu çözünürlük analizi bazlı yöntemler

## 2.2.1 Modülasyon bazlı yöntemler

Modülasyon bazlı yöntemlerde öncelikli olarak MS görüntünün kombinasyonlarından bir ara görüntü hazırlanır. PAN görüntünün bu ağırlıklandırılmış doğrusal görüntüye oranı hesaplanır. Sonrasında ise ölçeği yükseltilmiş MS görüntünün her bir bandı ile bu oran ölçeğinde çarpılarak birleştirilmiş görüntü elde edilir (Zhang, 2008).

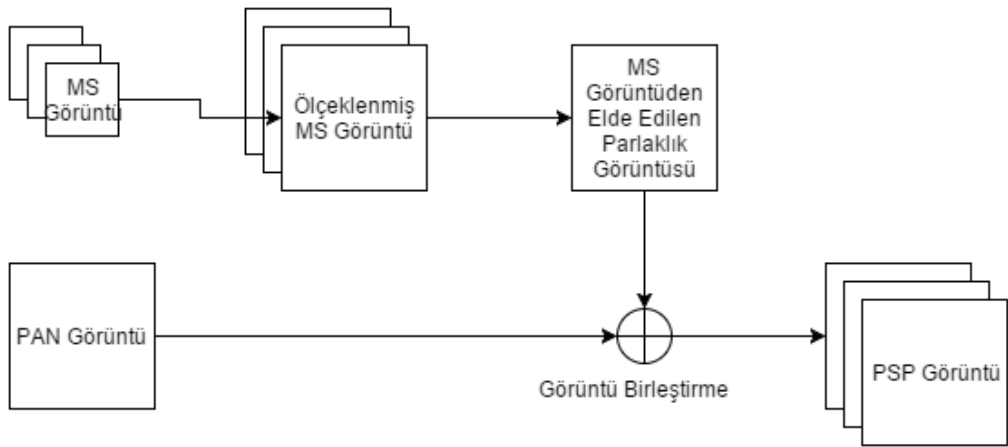
Bu çalışmada modülasyon bazlı yöntemlerden Brovey dönüşümü incelenmiştir.

### 2.1.1.1 Brovey dönüşümü

Adını yazarından alan Brovey dönüşümü görüntünün keskinleştirilmesi için oranlardan yararlanır. Temelde görüntüye ait histogramın uç değerleri arasındaki farklılığı artırmak için kullanılan bir birleştirme yöntemidir. Böylece kullanım olarak görsel algılamının önem kazandığı çalışmalarda daha çok öne çıkar. Çok bantlı görüntünün her bir bandının ayrı ayrı pankromatik görüntü ile çarpılması ve elde edilen değerlerin diğer tüm bantların piksel değerleri toplamına bölünerek parlaklık ve doygunluk değerleri artırılmış olur (Şekil 2.2).

Yöntemin uygulanması temel olarak şu şekildedir:

- MS görüntünün her bandının PAN görüntü boyutları esas alınarak yeniden boyutlandırılması
- Ölçeği büyütülmüş MS görüntüden parlaklık görüntüsü elde edilmesi
- Modülasyon oranı kullanarak birleştirilmiş MS bantların ayrı olarak teker teker oluşturulması



Şekil 2.2 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi

Brovey dönüşümünü matematiksel olarak ifade etmek gerekirse;

$$\hat{I} = \frac{1}{n} \sum_{band=1}^n \hat{M}_{band} \quad (2.1)$$

Burada  $\hat{I}$ , parlaklık görüntüsü olup  $\hat{M}_{band}$ , ölçeği yükseltilmiş MS görüntünün bir bandını; n, MS görüntüdeki toplam band sayısını ifade etmektedir.

Buna göre birleştirme işlemi denklem (2.2)'deki gibi olmaktadır. Denklemin yeniden düzenlemiş hali ise denklem (2.3)'teki gibi olmaktadır.

$$\hat{M}_{band} = \hat{M}_{band} \cdot \frac{P}{\hat{I}} \quad (2.2)$$

$$\hat{M}_{band} = \hat{M}_{band} + \frac{\hat{M}_{band}}{\hat{I}} (P - \hat{I}) \quad (2.3)$$

Formülde yer alan  $(P - \hat{I})$  PAN görüntüden çıkan mekansal detayları;  $\frac{\hat{M}_{band}}{\hat{I}}$  oranı da ağırlık katsayısını ifade etmemdir.

## 2.2.2 Bileşen değişimi bazı yöntemleri

Birleşen değişim yöntemlerinin temelinde yatan esas fikir, MS görüntüsünün zaman uzayından farklı bir dönüşüm uzayına dönüştürülmesi ve bu yeni uzaydaki baskın bileşenin (temel bileşen) özelliklerinin PAN görüntü ile değiştirilerek, elde edilen yüksek çözünürlüklü multispektral görüntünün zaman uzayına geri dönüştürülmesi şeklinde özetlenebilir.

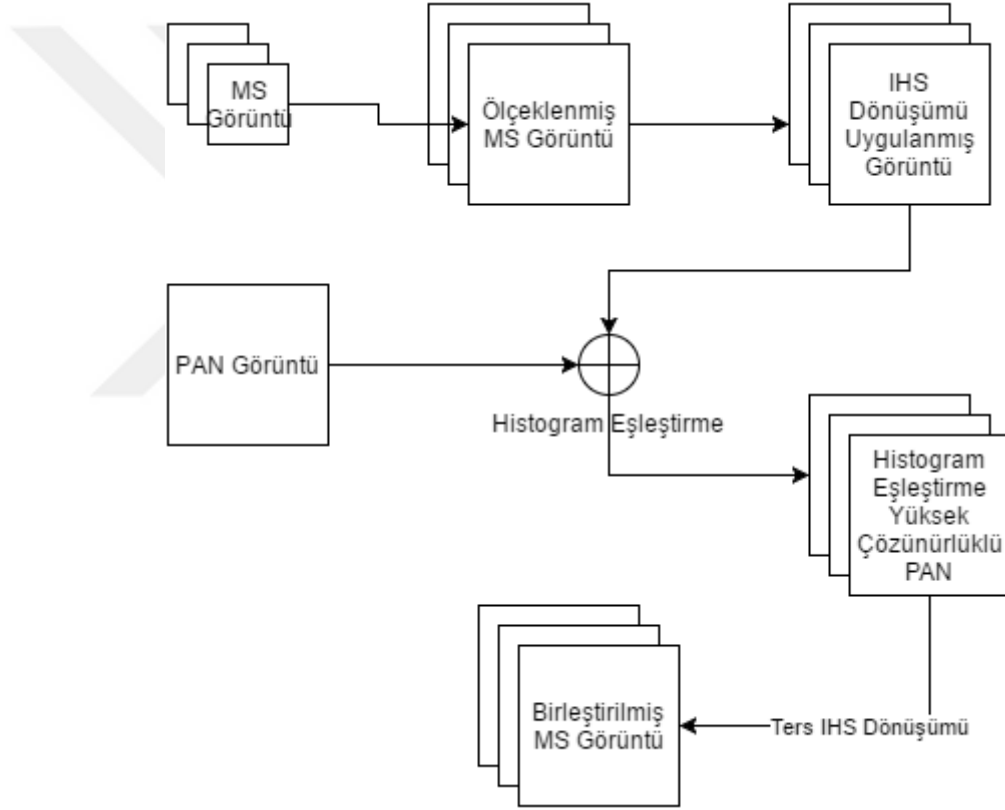
IHS (parlaklık-renk özü-doygunluk) ve PCA (Temel bileşen analizi) bu başlık altında incelenecek olan bileşen değişim yöntemleridir.

### 2.1.1.2 Parlaklık-renk özü-doygunluk dönüşümü (IHS)

IHS (parlaklık-renk özü-doygunluk) dönüşüm yöntemi düşük mekansal çözünürlüğe sahip kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) olmak üzere üç renk ile temsil edilen sayısal görüntülerin seçilen üç bandını kullanarak veriyi IHS bileşenlerine dönüştürür (Şekil 2.3).

Yöntemin uygulanması temel olarak;

- MS görüntünün her bandının PAN görüntü boyutları esas alınarak yeniden boyutlandırılması
- Ölçeği büyütülmüş MS görüntüsüne IHS dönüşümü uygulanması
- PAN görüntünün elde edilen parlaklık görüntüsüne göre histogramın eşleştirilmesi
- I görüntüsünün yerine histogram eşleştirilmiş yapılmış PAN görüntüsü kullanılarak ters IHS dönüşümü ile birleştirilmiş görüntünün her bir bant için elde edilmesi şeklinde uygulanmaktadır.



**Şekil 2.3 : IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi**

$$\begin{aligned} v_1 &= S \cdot \cos H \\ v_2 &= S \cdot \sin H \end{aligned} \quad (2.4)$$

Multispektral görüntüye IHS dönüşümü uygulandığı zaman aslında  $I-v_1-v_2$  dönüşümü gerçekleştirilmektedir.

İlgili denklemde H, renk değerini; S, doygunluk değerini;  $v_1$ ,  $v_2$  ve I parlaklık eksenine ve birbirlerine dik olan eksenleri ifade etmektedir. Buna göre IHS dönüşümü;

$$\begin{bmatrix} I \\ \mathcal{G}_1 \\ \mathcal{G}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{M}_1 \\ \hat{M}_2 \\ \hat{M}_3 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Burada  $\hat{M}_1$ ,  $\hat{M}_2$ ,  $\hat{M}_3$  ölçeği yükseltmiş MS görüntünün her bir bandını,  $v_1$ ,  $v_2$  ve  $I$  parlaklık eksenine ve birbirlerine dik olan eksenleri ifade etmektedir.

Buna bağlı olarak IHS dönüşümü Denklem (2.6)'daki gibi olmaktadır:

$$\begin{bmatrix} \hat{M}_1 \\ \hat{M}_2 \\ \hat{M}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I \\ \mathcal{G}_1 \\ \mathcal{G}_2 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Burada  $I$  yerine histogram eşleştirilmiş PAN görüntü kullanıldığı için formül denklem (2.7)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{M}_1 \\ \tilde{M}_2 \\ \tilde{M}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{M}_1 \\ \hat{M}_2 \\ \hat{M}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} PAN_{hm} - \tilde{I} \\ PAN_{hm} - \tilde{I} \\ PAN_{hm} - \tilde{I} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$\hat{M}_1$ ,  $\hat{M}_2$ ,  $\hat{M}_3$  pankeskinleştirilmiş görüntünün bantlarını göstermekte olup;  $PAN_{hm}$  histogramı eşleştirilmiş PAN görüntüyü ifade etmektedir.

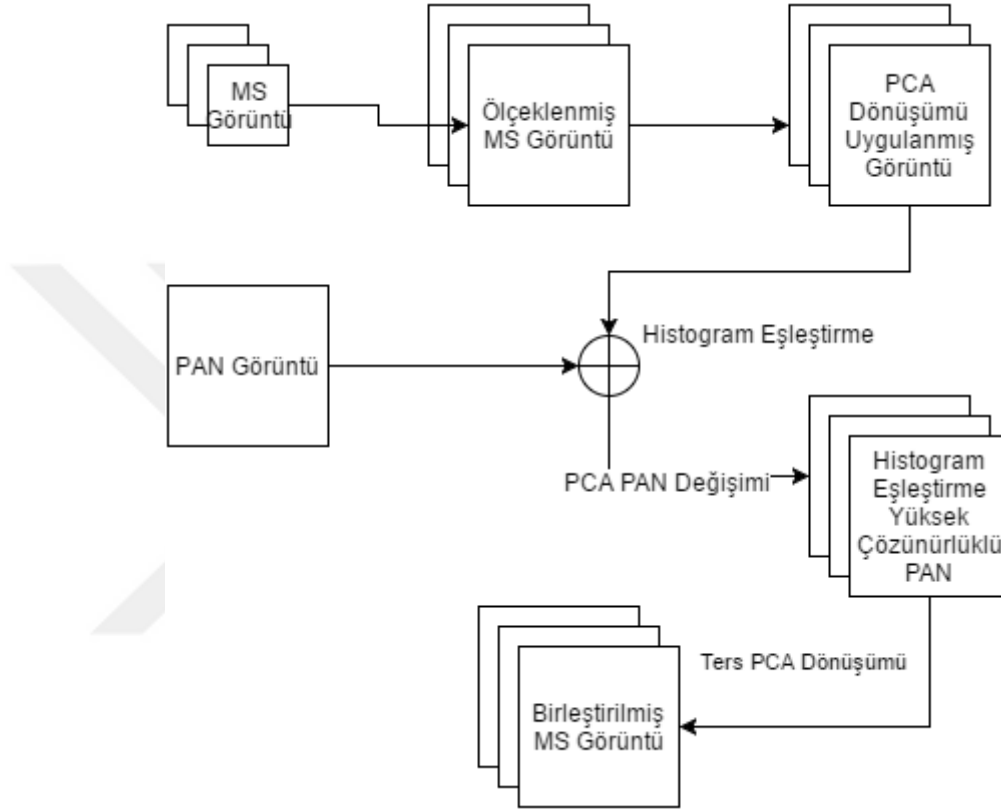
### 2.1.1.3 Temel bileşen analizi dönüşümü (PCA)

PCA yöntemi temelde IHS yöntemine oldukça benzemekle birlikte en büyük avantajı üç bant ile sınırlı olmaması, herhangi bir sayıdaki banda sahip çok bantlı görüntüye uygulanabilmesidir (Şekil 2.4).

Yöntemin uygulanması temel olarak

- MS görüntünün her bandı için temel bileşenlere dönüştürülür,

- PAN görüntü PC1 (1.temel bileşen) ile aynı ortalama ve standart sapmaya sahip olacak şekilde ölçeklenir,
- En büyük spektral değeri taşıyan ilk bileşen PAN görüntü ile yer değiştirilir,
- PAN görüntü ve MS görüntü birleştirilir,
- Ters PCA dönüşümü ile zaman uzayında dönülerek görüntüler elde edilir.



**Şekil 2.4 :** PCA dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi

Ölçeklendirilmiş MS görüntünün her bir bandına PCA uygulanabilmesi için öncelikle bantların Karhunen-Loève dönüşümüne tabi tutularak farklı bir dönüşüm uzayına dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşümden elde edilen vektör satır ve sütunların uç uca eklenmesi ile elde edilen  $(rxc) \times 1$  'lik bir sütun vektörüdür.

Her bir bant için elde edilen bu sütun vektörlerinin ortalaması hesaplanır ve her bir vektörün bu ortalamadan ne kadar saptığı bulunur. Her bant için oluşan bu vektörlerin bir araya getirilmesiyle  $(rxc) \times n$  boyutlarında A matrisi elde edilmiş olur.

Temel bileşenlerin hesaplanacağı kovaryans matrisi C'nin denklemi;

$$C = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \phi_i \phi_i^T = \frac{1}{n-1} AA^T \quad (2.8)$$

C matrisi  $(rxc)^2$  boyutlarında bir matris olduğu için üzerinde görüntü işleme yapılması ve temel bileşenlerin hesaplanması oldukça zor olacaktır. Bu noktada Turk (1991),  $AA^T$  ile özdeğer özvektör hesaplanması yerine çok daha küçük boyutlarda olan  $A^T A$  denklemi ile hesaplanmasını önermiştir.

Buna göre  $AA^T$  ve  $A^T A$  matrisinin özdeğer ve özvektör hesabı denklem (2.9)'daki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} (AA^T)v_i &= \mu_i v_i \\ (A^T A)v_i &= \lambda_i v_i \end{aligned} \quad (2.9)$$

$AA^T$  matrisinin özdeğerleri  $\mu_i$  ve özvektörleri  $v_i$ ;  $A^T A$  matrisinin özdeğerleri  $\lambda_i$  ve özvektörleri  $v_i$ 'dir. Denklemlerin her iki tarafı  $A$  ile çarpılacak olursa;

$$C(Av_i) = \lambda_i (Av_i) \quad (2.10)$$

$$\mu_i = \lambda_i, v_i = Av_i \quad (2.11)$$

elde edilmiş olur. Özdeğer ve özvektörler hesaplandıktan sonra  $v$  özvektörleri  $A$  matrisi ile çarpılarak  $v$  özvektörleri elde edilir.

### 2.2.3 Çoklu çözünürlük analizi bazı yöntemleri

Bu kategoride yer alan yöntemlerde mekansal bilginin aktarımı ağırlıklandırma şeklindeki işlemlerden ziyade frekans bölgesi veya ölçeklendirme şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Bu başlık altında alçak geçiren filtrelerde 2B'lu FFT kullanarak İdeal, Gaussian ve Butterworth pencere tipleri için görüntü birleştirme sonuçları incelenmiştir.



### 2.2.3.1 Fourier serileri

Fourier serilerini, Fransız matematikçi Joseph Fourier (1768-1830) bir metal çubuk veya levhadaki ısı denklemlerinin çözümü için kullanmıştır. Bir ısı denklemi, parçalı bir diferansiyel denklemdir. Fourier'in bu çalışmasından önce bu tür ısı denklemlerinin çözümü için ortaya konulmuş olan genel geçer bir çözüm yoktu. Fourier'in düşüncesi basit denklemleri (sin ve cos) katsayılarla üstüste ekleyerek karmaşık ısı kaynağı kombinasyonları oluşturmaktı.

Fourier kendini belirli aralıklarla tekrar eden bir dalga şekli olan periyodik dalga şeklinin tanımı yapmış ve harmoniklere sahip sinüsoidin, yani tüm frekansları temel frekansının (ilk harmonik) katları olarak bulunabilen, bir serisi olarak açıklamıştır.

Bir Fourier serisi periyodik bir  $f(t)$  fonksiyonunun, kosinüs ve sinüslerin sonsuz toplamı biçiminde bir açılımdır.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t), \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.12)$$

Burada  $\frac{a_0}{2}$  bir sabittir ve  $f(t)$ 'nin DC (ortalama) bileşenini verir. Böylece,  $f(t)$

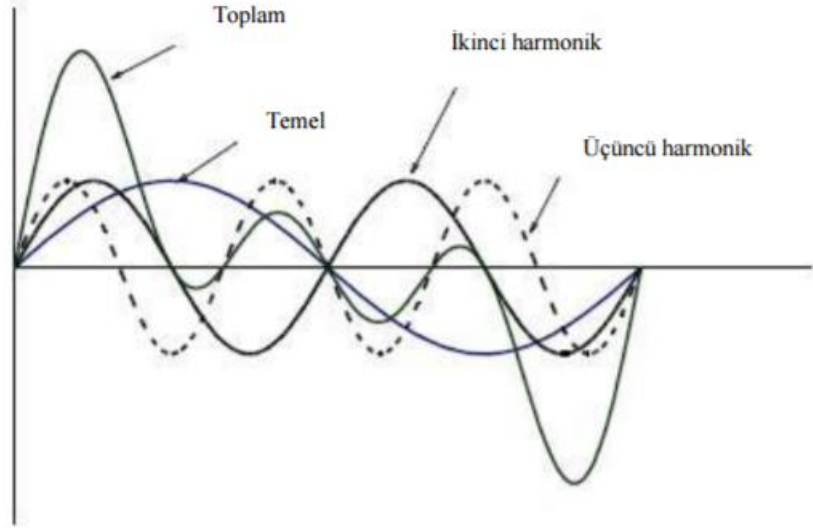
bir  $v(t)$  voltajı veya bir akım değeri  $i(t)$ 'yi gösteriyorsa  $\frac{a_0}{2}$  terimi  $v(t)$  nveya  $i(t)$

'nin ortalama değeridir.  $a_1$  ve  $b_1$  katsayıları  $\omega$ 'nın temel frekans bileşenlerini gösterir. Benzer şekilde,  $a_2$  ve  $b_2$  katsayıları  $\omega$ 'nın ikinci harmonik bileşenlerini gösterir ve diğer katsayılarda diğerlerine benzerdir.

Başka bir deyişle, herhangi bir periyodik fonksiyon sabit bir değer, kosinüs ve sinüs fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilebilir.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + (a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t) + (a_2 \cos 2\omega t + b_2 \sin 2\omega t) + \dots \quad (2.13)$$

Fourier serisi hesaplamaları harmonik analiz olarak bilinir ve keyfi bir fonksiyonun bir dizi basit terimlere ayrılarak, ayrı terimler olarak çözülmesi ve yeniden birleştirilip orjinal problemin çözümü için oldukça kullanışlı bir yoldur. Böylelikle problem istenilen ya da daha pratik olan bir yaklaşıklıkta çözülebilir (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5 :** Temel, ikinci ve üçüncü harmoniğin toplamı

### 2.2.3.2 Fourier dönüşümü

Fourier dönüşümü, bir müzikal akoru oluşturan notaların frekansları cinsinden ifade edilmesine benzer şekilde, bir zaman fonksiyonunu (bir sinyal) onu oluşturan frekanslara bölerek ifade eder. Zamanın bir fonksiyonunun Fourier dönüşümü, frekansı karmaşık değerli bir fonksiyondur ve mutlak değeri orijinal fonksiyonda bulunan frekansın miktarını temsil eder ve karmaşık argümanı bu frekanstaki temel sinüsoidalın faz kaymasıdır.

Fourier dönüşümü orijinal sinyalin frekans bölgesi gösterimi olarak adlandırılır. Fourier dönüşümü terimi hem frekans alanı gösterimini hem de frekans alan gösterimini bir zaman fonksiyonuna bağlayan matematiksel işlemi ifade eder.

Fourier dönüşümü, zamanın işlevleri ile sınırlı değildir, ancak birleşik bir dile sahip olmak için, orijinal işlevin etki alanına genellikle zaman alanı denir. Pratik bir çok fonksiyon için, bunu tersine çeviren bir işlem tanımlanabilir: frekans alan gösteriminin Fourier sentezi olarak da adlandırılan ters Fourier dönüşümü, orijinal zaman fonksiyonunu iyileştirmek için tüm farklı frekansların katkılarını birleştirir.

Bir domainde (zaman veya frekans) gerçekleştirilen doğrusal işlemler, farklı bir domainde çok daha kolay şekilde gerçekleştirilebilir işlemlere karşılık gelebilir. Örneğin zaman domaininde konvolüsyon işlemi frekans domaininde çarpma işlemine karşılık gelir. Bu nedenle bazı diferansiyel denklemlerin frekans domaininde analiz edilmesi daha kolaydır.

Somut olarak, bu, bir sinyale uygulanan bir filtre gibi doğrusal zamanla değişmeyen sistemin, frekanslar üzerindeki bir işlem olarak nispeten basitçe ifade edilebileceği anlamına gelir. İstenilen işlemleri yaptıktan sonra sonucun dönüşümü zaman alanına döndürülebilir. Harmonik analiz, frekans ve zaman alanları arasındaki ilişkinin sistematik bir çalışması olup, bir veya diğerinde "daha basit" olan veya modern matematiğin neredeyse tüm alanlarına derin bağlantıları olan işlevler veya işlem çeşitleri de dahildir. Fourier dönüşümü ve ters Fourier dönüşümü denklem (2.14) ve denklem (2.15)'teki gibi ifade edilebilir.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N} \quad (2.14)$$

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{i2\pi kn/N} \quad (2.15)$$

Zaman domaininde lokalize olan fonksiyonların, frekans domaininde yayılmış Fourier dönüşümleri vardır veya tam tersi durum da geçerlidir. Belirsizlik ilkesi olarak bilinen bir fenomendir. Bu ilke için kritik durum, olasılık teorisinde ve istatistikte normal dağılım gösteren (örneğin difüzyon) fiziksel fenomenlerin çalışmasında önemli önem taşıyan Gauss fonksiyonudur.

Bir Gauss fonksiyonunun Fourier dönüşümü başka bir Gauss fonksiyonudur. Joseph Fourier, ısı iletiminin çalışmasında Gauss fonksiyonlarının ısı denkleminin çözümleri olarak ifade eden ve kendi adı ile anılan dönüşümü ile tanınmaktadır.

### 2.2.3.3 Ayırık Fourier dönüşümü (DFT)

Ayrık zamanlı Fourier dönüşümü (DFT), ayrık zamanlı sinyal işleme algoritma ve sistemlerinin analizi, tasarımı, gerçekleştirilmesi ile doğrusal filtreleme, korelasyon analizi ve spektrum analizi gibi sinyal işleme uygulamalarında önemli bir rol oynar. DFT'nin bu öneme sahip olmasının ardındaki temel neden DFT'yi hesaplamakta kullanılan verimli algoritmaların varlığıdır.

Ayrık zamanlı Fourier dönüşümü (DFT) hesaplanırken karşılaşılan en büyük sorun  $\omega$  'nın sürekli bir frekans olmasıdır. Sayısal olarak bunu hesaplamak oldukça zordur. Bu yüzden frekansı ayrıklaştırmak büyük kolaylık sağlar. Fourier gösteriminin dualite özelliğinden dolayı ayrıklaştırma, frekansta sürekli olan spektrumun örneklenmesiyle yapılabilir.

$$\begin{aligned} X(\omega) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j2\pi n} \\ x[n] &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(\omega) e^{j2\pi n} d\omega \end{aligned} \quad (2.15)$$

DFT, Fourier dönüşümünün eşit aralıklı frekanslardaki örneklerine özdeştir. Sonuç olarak N noktalı bir DFT'nin hesaplanması Fourier dönüşümünün N örneğinin, N eşit aralıklı frekanslarla  $\omega_k = \frac{2\pi}{N} k$ , z-düzlemindeki birim çember üzerinde N nokta ile hesaplanmasına karşılık gelir. Burada temel amaç N -noktalı DFT'nin hesaplanması için verimli algoritmaların kullanılmasıdır. Bu algoritmalar ortak olarak hızlı Fourier dönüşümü (FFT) algoritmaları adını alır.

#### 2.2.3.4 Hızlandırılmış Fourier dönüşümü (FFT)

Ayrık Fourier dönüşümü (DFT), ayrık fonksiyonların Fourier dönüşümünü yapmak için çok önemli bir yapı olmakla beraber, dizi eleman sayısının çok fazla olduğu dönüşümler için uzun zaman harcamaktadır. Özellikle resim işleme gibi data sayısı fazla olan işlemler için yavaştır.

1965 yılında Cooley ve Tukey DFT için gerekli işlem miktarını azaltacak bir prosedür geliştirdiler.

Bu prosedür, sayısal işaret işleme ve diğer alanlarda DFT uygulamalarında ani bir artış olmasına sebep oldu. Ayrıca başka algoritmaların geliştirilmesine ön ayak olmuştur. Tüm bu algoritmalar Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) algoritmaları olarak bilinir. Bu algoritmalar ile DFT hesabı için yapılması gereken işlem sayısı büyük ölçüde azaltılarak işlem kolaylığı sağlanmıştır. Her ne kadar dönüşüm olarak adlandırılrsa, Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) Ayrık Fourier Dönüşümü (DFT)'den farklı değildir. FFT, DFT hesaplanması için etkili ve ekonomik bir algoritmadır.

### 2.2.3.5 Filtre (süzgeç) tipleri

Sayısal filtre (süzgeç) kavramı yada sadece filtre, çoğunlukla ayırık-zaman sistemle ilgili olarak kullanılır. Sayısal süzgeç J. F. Kaiser tarafından "... genelde giriş olarak alınan örneklenmiş im veya sayı dizisinin çıkış imi olarak adlandırılan ikinci bir sayı dizisine dönüştürülmesi işlemi veya algoritmasıdır. Hesaplama işlemleri; alçak geçiren süzgeçleme (yumuşatma), bantgeçiren, süzgeçleme, ara değerlendirme, türevlerin genelleştirilmesi vb. olabilir." şeklinde tanımlanır.

Frekans bölgesinde filtreleme Fourier dönüşümüne dayanır. Operatör genellikle Fourier alanında bir görüntü ve bir filtre fonksiyonu alır. Bu görüntü daha sonra bir piksel-piksel filtre işlevi ile çarpılır.

$$G(k,l) = F(k,l)H(k,l) \quad (2.16)$$

$F(k,l)$  Fourier alanındaki giriş görüntüsü,  $H(k,l)$  filtre fonksiyonu ve  $G(k,l)$  filtrelenmiş görüntüdür. Elde edilen görüntüyü uzamsal alanda elde etmek için  $G(k,l)$  Ters Fourier Dönüşümü kullanılarak yeniden dönüştürülmelidir.

Fourier uzayındaki çarpma, uzamsal alanda kıvrımlanma ile özdeş olduğu için, tüm frekans filtreleri teorik olarak bir uzaysal filtre olarak uygulanabilir. Bununla birlikte, uygulamada, Fourier alanı filtre fonksiyonu sadece uzamsal alanda filtreleme kerneli ile yaklaştırılabilir.

Filtre fonksiyonunun biçimi operatörün etkilerini belirler. Temelde üç farklı türde filtre vardır: alçak geçiren, yüksek geçiren ve bant geçiren filtreler. Bir alçak geçiren filtre, yüksek frekansları zayıflatır ve düşük frekansları değiştirmeden korur. Uzamsal alanın sonucu yumuşatma filtresine denk gelir; Çünkü engellenen yüksek frekanslar keskin yoğunluk değişikliklerine, diğer bir deyişle, mekansal alan görüntüsündeki ince ayrıntı ayrıntılarına ve gürültüye karşılık gelir.

Öte yandan, bir yüksek geçiren filtre, kenarların birçok yüksek frekans içerdiğinden, uzamsal alanda kenar artışı veya kenar algılaması üretir. Oldukça sabit gri seviye alanlar çoğunlukla düşük frekanslardan oluşur ve bundan dolayı bastırılır.

Bir bant geçiren çok düşük ve çok yüksek frekansları zayıflatır, ancak bir orta frekans bandını korur. Band geçiren filtreleme, kenarları güçlendirmek (düşük frekansları bastırmak) için kullanılırken aynı zamanda gürültüyü azaltmak için de kullanılabilir (yüksek frekansları zayıflatma).

### **Alçak geçiren filtre**

Bir görüntüdeki istatistiksel gürültüyü azaltmak veya kaldırmak için kullanılan ortak yöntem, yumuşatma filtrelerinin uygulanmasıdır. Bu filtreler, alçak frekansların değiştirilmeden tutulmasını ve yüksek frekansları bloke etmesini sağlayan alçak geçiren filtrelerdir. Alçak geçiren filtreler başlıca iki parametre ile karakterize edilir: "kesme frekansı" ve "derece" kesme frekansı, gürültünün ortadan kaldırdığı frekans tanımlar. Filtre işlevi, kesme frekansının üzerindeki tüm frekanslar için sıfır olarak tanımlanır.

Bir görüntüde görüntülenebilen en yüksek frekans olan Nyquist  $Nq$  frekansı görünüşte bir filtrenin en yüksek kesme frekansıdır. Kesme frekansı, piksel başına veya  $Nq$  frekansının bir fraksiyonu olarak ifade edilir. Kesme frekansı tipik olarak  $Nq$  frekansının 0,2 ila 1,0 katına değişir. Kesme frekansının değeri, filtrenin görüntü gürültüsünü ve çözünürlüğü nasıl etkileyeceğini belirler. Yüksek kesme frekansı mekansal çözünürlüğü iyileştirir ve bu nedenle çok fazla ayrıntı görülebilir, ancak görüntü gürültülü kalır. Düşük bir kesme frekansı pürüzsüzleştirmeyi artırır ancak son rekonstrüksiyonda görüntü kontrastını düşürecektir.

Derece parametresi, filtre fonksiyonunun eğimini kontrol eder ve kesim frekansının eğimini karakterize eder. Yüksek bir derece keskin bir düşüş ile sonuçlanacaktır.

$$\begin{aligned} H_{LP}(u, v) &= \{1, r(u, v) < F_c\} \\ H_{LP}(u, v) &= \{0, \text{diğer}\} \end{aligned} \quad (2.17)$$

2B'lu bir filtre için  $u = 1, 2, \dots, M-1, v = 1, 2, \dots, N-1, -0.5 < m < 0.5 -0.5 < n < 0.5$ ,  $r(u, v) = \sqrt{m^2 + n^2}$  ve  $F_c$  kesim frekansını ifade etmektedir.

### **Yüksek geçiren filtre**

Yüksek geçiren filtre ise, DC değeri merkeze kaydırılmış F matrisinin merkez veya merkeze yakın eleman değerlerini (alçak bileşenleri) yok etmek veya zayıflatmak, merkezden uzak eleman değerlerini ise korumak şeklindedir. Filtre matrisi oluşturma işlemi alçak geçiren filtredeki gibidir. Yüksek geçiren filtreleme görüntüdeki nesne kenarlarının belirginleşmesine, gövdenin ise siyahlaşmasına neden olur.

$$\begin{aligned} H_{HP}(u, v) &= \{1, r(u, v) \succ F_c\} \\ H_{HP}(u, v) &= \{1 - H_{LP}(u, v)\} \end{aligned} \quad (2.18)$$

### **2.2.3.6 Pencere tipleri**

#### **İdeal alçak geçiren filter**

Kesme frekansının üzerindeki frekans bileşenlerini bloke eder ve yalnızca daha düşük frekans bileşenlerinin geçmesine izin verir.

$$\begin{aligned} H_{LP}(u, v) &= \{1, r(u, v) \prec F_c\} \\ H_{LP}(u, v) &= \{0, \text{diğer}\} \end{aligned} \quad (2.19)$$

#### **Gaussian alçak geçiren filtre**

Gaussian filtreler uzaysal domainde alçak geçiren filtreler olarak kullanılır. Frekans domaininde bir Gaussian filtreleme yapmak için; bir gaussian filtre matrisi oluşturulur ve dönüştürülmüş görüntü matrisi ile çarpılır. Sonucun ters dönüşümü alınır. Uzaysal domaindeki gaussian filtreler gibi, frekans domainindeki gaussian filtrelerde lineer filtrelerdir ve oldukça iyi sonuçlar verirler.

Gaussian filtreler pürüzsülük açısından (yumuşaklık) ideal filtrelerden daha iyi sonuç verir.

$$H(u, v) = e^{-\left(\frac{r^2}{2F_c^2}\right)} \quad (2.20)$$

### Butterworth alçak geçiren filtre

İdeal alçak ve yüksek geçiren filtreleme en kolay filtreleme teknikleridir. Ancak sonuç görüntüde nesnelere çevresinde istenmeyen halkalar oluşur. Bundan kaçınmanın bir yolu, daha az keskin kesimli bir dairesel filtre matrisi kullanmaktır. Bu amaçla en sık kullanılan filtre tipi Butterworth filtrelerdir.

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{F_c}\right)^{2p}}, u = 0, 1, \dots, M-1, v = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.21)$$



### 3. KALİTE METRİKLERİ

Birleştirilmiş görüntüler farklı karakteristikteki görüntü verilerinin birleştirilmesi ile elde edildikleri için daha güvenilir ve yorumlaya açık sonuçlar elde edilir. Literatürde kabul görmüş olan değerlendirme yöntemleri görüntülerin spektral ve mekansal özelliklerini ele alacak şekilde incelenmesine olanak vermektedir (Xu, 2004).

Bu çalışmada edilen sonuçların yorumlanmasında kullanılan başlıca kalite metrikleri şu şekildedir:

#### 3.1 Karesel Ortalama Hata (RMSE)

Karasel Ortalama Hata (Root Mean Square Error) yöntemi birleştirilmiş görüntü ile referans görüntü arasındaki ortalama standart sapmayı verir (Wald, 2002). Her bir bant için alınan farklar toplanır ve toplam pixel sayısına bölünerek ortalama sapma hesaplanmış olur.

$$RMSE_i = \frac{1}{rxc} \sqrt{\sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c (MS_i - PSP_i)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

$r$  satır sayısını,  $c$  sütun sayısını,  $MS_i$  multispectral görüntüyü,  $PSP_i$  birleştirilmiş görüntüyü,  $i$  band sayısını ifade etmektedir.

$RMSE$  bir bozulma verisi olduğu için ideal değeri 0'dır ( $MS_i = PSP_i$  ise). Hesaplama sonucu ne kadar büyük çıkarsa bozulma o kadar fazladır.

#### 3.2 Spektral Açık Eşleştirici (SAM)

Spektral Açık Eşleştirici (Spektral Angular Mapper) yöntemi birleştirilmiş görüntü ile referans görüntü arasındaki açısal farkı hesaplayarak bozulma bilgisi vermektedir.

$$SAM_i = \arccos \left( \frac{\langle MS_i, PSP_i \rangle}{\|MS_i\| \|PSP_i\|} \right) \quad (3.2)$$

$MS_i$  multispectral görüntüyü,  $PSP_i$  birleştirilmiş görüntüyü,  $i$  band sayısını ifade etmektedir.

İdeal değeri sıfır olan bu yöntem için hesaplama sonucu ne kadar büyük çıkarsa birleştirilmiş görüntünün spektral kalitesi o kadar düşük olur.

### 3.3 Göreceli Ortalama Spektral Hata (RASE)

Ortalama Spektral Hata denklemi üzerinden yapılan iyileştirmelerle tanımlanmış RASE formülü denklem (3.3)'teki gibidir.

$$RASE = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(RMSE_i)^2}{\mu_{MS_i}}} \quad (3.3)$$

$\mu$  beklenen değeri (MS bandın ortalaması),  $i$  band sayısını,  $RMSE$  ortalama karasel hatayı ifade etmektedir.

$$\mu_{MS_i} = \frac{1}{rxc} \sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c MS_i(m, n) \quad (3.4)$$

RASE için ideal değeri 0'dır. Hesaplama sonucu ne kadar büyük çıkarsa bozulma o kadar fazladır.

### 3.4 Göreceli Boyutsuz Global Sentez Hatası (ERGAS)

Göreceli Boyutsuz Global Sentez Hatası (Erreur Relative Globale Adimensionelle de Synthèse) denklemi RASE denklemi geliştirilerek elde edilmiştir (Wald, 2002).

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(RMSE_i)^2}{(\mu_{MS_i})^2}} \quad (3.5)$$

$h$  Pan görüntünün çözünürlüğünü,  $l$  MS görüntünün çözünürlüğünü,  $\mu$  beklenen değeri (MS bandın ortalamasını) ifade etmektedir.

ERGAS metriği için ideal değeri 0'dır. Hesaplama sonucu ne kadar büyük çıkarsa bozulma o kadar fazladır.

### 3.5 Uluslararası Görüntü Kalite Endeksi (UIQI)

*UIQI* metriği Wang ve Bovik (2002) tarafından ortaya atılmış bir metriktir. Temel olarak orijinal ve sonuç görüntüyü parlaklık, zıtlık, yapısal olarak üç farklı kategori altında karşılaştırır ve yorumlar.

$$\begin{aligned}l(x, y) &= \frac{2\mu_x\mu_y}{\mu_x^2\mu_y^2} \\c(x, y) &= \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2\sigma_y^2} \\s(x, y) &= \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x + \sigma_y}\end{aligned}\quad (3.6)$$

$l(x, y)$  orijinal ve sonuç görüntü ortalamasını,  $c(x, y)$  standart sapmayı,  $s(x, y)$  ise kovaryansı ifade etmektedir. Bu üçünden yola çıkılarak da *UIQI* metriği denklem (3.7)'deki gibi ifade edilebilir.

$$UIQI_i = \frac{4 \cdot \delta_{MS_i, PSP_i} \cdot \mu_{MS_i} \cdot \mu_{PSP_i}}{(\delta_{MS_i}^2 + \delta_{PSP_i}^2)(\mu_{MS_i}^2 + \mu_{PSP_i}^2)} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned}\delta_{MS_i, PSP_i} &= \pi r^2 \\ \mu_{MS_i} &= \frac{1}{rxc} \sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c MS_i(m, n) \\ \mu_{PSP_i} &= \frac{1}{rxc} \sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c PSP_i(m, n)\end{aligned}\quad (3.8)$$

*UIQI* yalnızca orijinal ve sonuç görüntülerin birinci ve ikinci dereceden istatistiklerini dikkate alan basit bir ölçümdür. *UIQI* kararsız önlem olarak kabul edilir. *UIQI* değer aralığı  $[-1, 1]$  arasında olup ideal değeri 1'dir.

### 3.6 Referansız Kalite Metriği (QNR)

Kantitatif kalite değerlendirmesi için ağırlıklı olarak dikkate alınan üç yöntem veya protokol vardır. ERGAS, spektral açı eşleştiricisi (SAM), evrensel görüntü kalitesi endeksi (UIQI) gibi geleneksel ve köklü ölçütleri kullanmaktadır. Bu ölçümleri kullanmak, orijinal gözlemlenen MS görüntüsü referans olarak kullanılabilir şekilde MS ve PAN görüntülerinin mekansal olarak bozulmasını gerektirir.

İkinci seçenek, referans görüntüsüne ihtiyaç duymayan kalite metrikleridir. Bu, birleştirilmiş görüntünün tam çözünürlükte değerlendirilmesini sağlar.

Referansız Kaliteli (QNR) metriği yüksek çözünürlüklü MS görüntüsünü referans almaya gerek duymadan görüntü keskinleştirme yapılan durumlardaki görüntü kalitesini hesaplar.

QNR, bir tanesi spektrum ve diğeri uzaysal bozulma olmak üzere iki endeksten oluşur. Benzersiz bir kalite endeksi elde etmek için iki bozulma birlikte kombine edilebilir. UIQI vasıtasıyla gerçekleştirilen skaler görüntü çiftlerinin benzerlik ölçümleri yoluyla spektral ve mekansal bozulma hesaplanır.

Spektral bozulma  $D_\lambda$  düşük çözünürlüklü multi spektral görüntüleri ve birleştirilmiş multispektral görüntüleri arasında hesaplanır. Dolayısıyla, spektral bozulmayı belirlemek için iki grup arasında bant UIQI değerleri, düşük ve yüksek çözünürlüklerde ayrı olarak hesaplanır. İki ölçekte karşılık gelen UIQI değerlerin farklılıkları, birleştirme işleminin getirdiği spektral bozulmayı verir.

Böylece, spektral bozulma ( $D_\lambda$ ) ve mekansal bozulma ( $D_s$ ) matematiksel olarak şu şekilde temsil edilebilir:

$$D_\lambda = \frac{1}{N \cdot (N-1)} \sum_{l,k=1}^N |UIQI(MS_l, MS_k) - (PSP_l, PSP_k)| \quad (3.9)$$

$$D_s = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |UIQI(MS_k, PAN_l) - (PSP_k, PAN)| \quad (3.10)$$

Denklem (3.9) ve denklem (3.10) kullanılarak elde edilen QNR metrik değeri denklem (3.11)'deki gibi olmaktadır.

$$QNR = (1 - D_\lambda)^\alpha \cdot (1 - D_s)^\beta \quad (\alpha = \beta = 1) \quad (3.11)$$

QNR metriği için değer aralığı  $[-1,1]$  arasında olup ideal değeri 1'dir .

## 4. DEĞERLENDİRME

### 4.1 Çalışma Bölgesi ve Teknik Özellikler

Çalışma bölgesi olarak Marmara Bölgesi İstanbul il sınırları içerisinde kalan Maslak Finansal Bölgesini ve boğazın her iki yakasını da içine alan farklı arazi örtüsü sınıfları içeren bir test alanı seçilmiştir.

Aynı çalışma bölgesine ait farklı boyutlardaki MS (1024x1024) ve PAN (2048x2048) görüntü örneklerine Şekil (2.8) ve Şekil (2.9)'da yer verilmiştir.



Şekil 2.6 : MS inceleme görüntüsü



**Şekil 2.7** : PAN inceleme görüntüsü

Çalışmada 09.12.2016 tarihine ait İTÜ Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi (UHUZAM) tarafından elde edilen SPOT 5 MS ve PAN uydu görüntüleri kullanılmıştır.

SPOT-5 uydusu üzerinde yüksek çözünürlükte algılama yapabilen iki adet HRG sensörü mevcuttur. Bu sensörler pankromatik algılama modunda 2.5 metre ile 5 metre, multispektral algılama modunda 10 metre çözünürlüklü veya daha iyi çözünürlükte veri temin edebilmektedir. Ayrıca, uydu üzerinde pankromatik modda algılama yapabilen HRS sensörü bulunmaktadır. HRS ile ileri ve geri bakışlar sayesinde yüzey rölyefini tanımlayabilecek stereo görüntü çiftleri elde edilebilmektedir. Stereo görüntü çiftlerinden yeryüzüne ait yükseklik bilgisini veren Sayısal Yükseklik Modelleri oluşturulmaktadır.

SPOT uydularının teknik özellikleri Çizelge 4.1’de ifade edilmektedir (Akoğuz, 2013).

**Çizelge 4.1 : SPOT uydusu teknik özellikleri**

	SPOT 1, 2 & 3	SPOT 4	SPOT 5
Yörünge	Güneş-senkronize		
Yerel ECT	Öğleden Önce 10:30		
Ekvator'da yükseklik	822 km		
Eğiklik açısı	98.7 derece		
Hız	7.4 km/s		
Yörünge periyodu	101.4 dakika		
Yörünge döngüsü	26 gün		
Gün başına devir	14 + 5/26		
Döngü başına devir	369		
Uydu verici frekansı	8253 MHz (X band)		8253 - 8365 MHz (X band)
Modülasyon	QPSK		
Telemetri link	50 Mb/s		2 x 50 Mb/s
Sensör algılama açısı	± 31.06 derece		
Görüntüleme alanı	60 km x 60 km		
Görüntüleme enstrümanı	2 adet HRV	2 adet HRVIR	2 adet HRG
Spektral band ve çözünürlük	1 adet Pan (10 m) 3 adet MS (20 m)	1 adet Pan (10 m) 3 adet MS (20 m) 1 adet SWIR (20 m) 1 adet SWIR (20 m)	2 adet Pan (5 m) {birleştirilerek 2.5m Pan üretilir [THR]} 3 adet MS (10 m)
Spektral aralık	Pan : 0.51 - 0.73 µm B1 (yeşil) : 0.50 - 0.59 µm B2 (kırmızı) : 0.61 - 0.68 µm B3 (NIR) : 0.78 - 0.89 µm	Pan : 0.61 - 0.68 µm B1 (yeşil) : 0.50 - 0.59 µm B2 (kırmızı) : 0.61 - 0.68 µm B3 (NIR) : 0.78 - 0.89 µm B4 (SWIR) : 1.58 - 1.75 µm	Pan : 0.48 - 0.71 µm B1 (yeşil) : 0.50 - 0.59 µm B2 (kırmızı) : 0.61 - 0.68 µm B3 (NIR) : 0.78 - 0.89 µm B4 (SWIR) : 1.58 - 1.75 µm
Görüntü kodlama	8 bit		

## 4.2 Elde Edilen Sonuçlar

Görüntü birleştirme işlemi yapılacak olan çalışma bölgesinin hazırlanması öncesinde bazı ön hazırlıklar yapılmıştır.

İlk olarak SPOT5 uydusundan elde edilen görüntülerin radyometrik düzeltmeleri yapılır, üzerinde çalışmaya uygun formatta kaydedilir. Elde edilen görüntüler 12000x12000 gibi çok büyük boyutlarda olduğu için bu görüntülerden ilgili çalışma alanlarının kesilerek çıkartılması gerekmektedir. Bu çalışma için Şekil (2.8)'de detayları verilen MS görüntü için 1024x1024'lük bir çalışma alanı tercih edilmiştir.

Sonuçların karşılaştırılabilmesi adına MS görüntünün orjinal hali referans olarak saklandı ve çalışma bölgesi görüntüler 2:1 oranında örneklenerek boyutları yarıya düşürüldü. Bu durumda elde edilen görüntüler PAN (1024x1024), MS (512x512) Şekil (A.3.1)'de verilmiştir.

Sonrasında görüntü birleştirme öncesi MS görüntünün PAN görüntü ile aynı boyutlara getirilmesi için yeniden boyutlandırma uygulanmıştır Şekil (A.3.2).

Son olarak da elde edilen eşit boyutlardaki test verilerine sırası ile Brovey, HIS, PCA, Ideal FFT, Gaussian FFT ve Butterworth FFT yöntemleri uygulanarak sonuçlar altı farklı kalite metriğine göre değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Bu çalışmada, bu alanda daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak her bir yöntem; zaman ve frekans bölgesindeki birden fazla interpolasyon yöntemi ile boyutlandırılarak birden fazla histogram eşitleme tekniğine göre birleştirme işlemi yapılmış, uygulama alanı pencerelerini kaydırmalı veya bloklar şeklinde uygulanarak oldukça farklı açılardan sonuçlar elde edilmiş ve elde edilen kombinasyonlar çok farklı özelliklerdeki değerlendirme metriklerine göre yorumlanmıştır. Bu sayede literatürde yer alan eski ve yeni yöntemleri farklı kullanım amaçlarına hizmet edecek şekilde yorumlayabilmek için oldukça çeşitli bir geniş bakış açısına sahip bir veri altyapısı sağlanmış olmaktadır.

Elde edilen sonuçlara ve yorumlarına aşağıdaki tablolarda yer verilmiştir. Tablolarda kullanılan kısaltmaların açıklamaları Çizelge 4.1'de yer almaktadır.

**Çizelge 4.1** : Tablolarda yer alan kısaltmaların açıklamaları

Kapsam	Kısaltma	Açıklama
Boyutlandırma	intp_ner	Nearest interpolasyon
Boyutlandırma	intp_lin	Linear interpolasyon
Boyutlandırma	intp_cbc	Cubic interpolasyon
Boyutlandırma	intp_spl	Spline interpolasyon
Boyutlandırma	imrsz_ner	Nearest imresize
Boyutlandırma	imrsz_bln	Bilinear imresize
Boyutlandırma	imrsz_bcb	Bicubic imresize
Boyutlandırma	imrsz_lnc2	Lanczos2 imresize
Boyutlandırma	imrsz_lnc3	Lanczos3 imresize
Histogram	noHS	No Histogram
Histogram	inHs	Intensitywise Histogram
Histogram	bdHs	Bandwise Histogram



#### 4.2.1 Brovey yöntemi sonuçları

Çizelge 4.2 : RMSE metriğine göre Brovey sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719
1024	1024	İmrsz_bln	inHS	0,0237	0,0244	0,0225	0,0235
1024	1024	imrsz_bln	bdHS	0,0284	0,0262	0,0218	0,0255
4	4	intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,0167</b>	<b>0,0186</b>	<b>0,0166</b>	<b>0,0173</b>
4	4	intp_lin	bdHS	0,0256	0,0219	0,0196	0,0224
4	1	intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719
4	2	intp_lin	inHS	0,0168	0,0187	0,0166	0,0174
4	2	intp_lin	bdHS	0,0254	0,0223	0,0196	0,0224

RMSE metriğine göre Brovey yönteminde 4x4'lük blokları 4'erli adımlarla kaydırmak en iyi sonucu vermektedir. Lineer interpolasyon ile boyutlandırılmış, instesitywise histogram eşitleme tekniği kullanılmalıdır.

Benzer şekilde hiç histogram eşitleme yapılmadığında kullanılan pencere yönteminden bağımsız olarak sonuçlar referans değerlerden oldukça uzaklaşmakta ve kötüleşmektedir.

Çizelge 4.3 : SAM metriğine göre Brovey sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_cub	noHS	0,2289	0,2452	0,2306	0,2349
1024	1024	intp_bln	inHS	0,2215	0,2318	0,2149	0,2227
1024	1024	intp_bln	bdHS	0,2667	0,2487	0,2075	0,2409
4	4	intp_cub	noHS	0,2289	0,2452	0,2306	0,2349
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,1561</b>	<b>0,1769</b>	<b>0,1597</b>	<b>0,1643</b>
4	4	intp_lin	bdHS	0,2227	0,206	0,187	0,2053
4	1	intp_cub	noHS	0,2289	0,2452	0,2306	0,2349
4	2	intp_lin	inHS	0,1567	0,1776	0,1601	0,1648
4	2	intp_lin	bdHS	0,2205	0,2089	0,1864	0,2053

SAM metriğine göre elde edilen sonuçlar global, bloklama ve kaydırmalı yöntemlerde uygulanan histogram işlemine göre incelendiğinde en iyi sonuçları yine aynı şekilde 4x4'lük blokları 4'erli adımlarla kaydırmak vermektedir.

SAM metriği ile RMSE metriği ile bu anlamda yakın sonuçlar vermektedir. RMSE metriği ideal değerlere daha yakın sonuçlar vermektedir. Ancak SAM metriğinin histogram eşitleme uygulanmaması durumunda elde edilen sonuçları ideale daha yakın sonuçlar üretmektedir.

**Çizelge 4.4 : RASE metriğine göre Brovey sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
1024	1024	intp_cub	noHS	0,7056
1024	1024	imrsz_bln	inHS	0,2309
1024	1024	imrsz_bln	bdHS	0,2513
4	4	intp_cub	noHS	0,7056
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,1699</b>
4	4	intp_lin	bdHS	0,2208
4	1	intp_cub	noHS	0,7056
4	2	intp_lin	inHS	0,1706
4	2	intp_lin	bdHS	0,2213

RASE metriğine göre Brovey yönteminde en iyi sonuçları benzer şekilde 4x4'lük blokların kaydırılması vermektedir.

Butterworth tekniği için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.5 : ERGAS metriğine göre Brovey sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
1024	1024	intp_ner	noHS	0,0346
1024	1024	imrsz_bln	inHS	0,0113
1024	1024	imrsz_bln	bdHS	0,0123
4	4	intp_ner	noHS	0,0346
4	4	intp_lin	inHS	0,0083
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>intp_lin</b>	<b>bdHS</b>	<b>0,0108</b>
4	1	intp_ner	noHS	0,0346
4	2	intp_lin	inHS	0,0084
4	2	intp_lin	bdHS	0,0109

ERGAS metriğine göre Brovey yönteminde en iyi sonuçları 4x4'lük alanlara pencere uygulanmış linear interpolasyon yöntemi vermektedir. Diğer metriklerden farklı olarak burada bandwise histogram eşitleme öne çıkmaktadır.

Ayrıca sonuçlar RMSE, RASE ve SAM metriğinden çok daha iyi sonuçlar ile ideal değere yakınsamaktadır.

**Çizelge 4.6 : UIQI metriğine göre Brovey sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_spl	noHS	0,2354	0,2453	0,1835	0,2214
1024	1024	intp_spl	inHS	0,7443	0,6661	0,385	0,5985
1024	1024	intp_spl	bdHS	0,6804	0,6575	0,2879	0,5419
128	128	intp_spl	noHS	0,2354	0,2453	0,1835	0,2214

4	4	intp_lin	inHS	0,8814	0,8074	0,6407	0,7765
4	4	intp_lin	bdHS	0,8114	0,786	0,4686	0,6886
512	256	intp_spl	noHS	0,2354	0,2453	0,1835	0,2214
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,8807</b>	<b>0,8088</b>	<b>0,6454</b>	<b>0,7783</b>
4	2	intp_lin	bdHS	0,8143	0,7825	0,4768	0,6912

UIQI metriğine göre Brovey yönteminde en iyi sonuçları kayan pencere yöntemi uygulanmış birleştirme için linear polasyon ile upscale edilmiş intesitywise histogram eşitleme yöntemi vermektedir.

Sonuçları yakından incelediğimizde histogram eşitleme işleminin yapılmamasının değerleri ideal değerden oldukça uzaklaştırdığı açıkça görülebilmektedir. Uygulama yüzeyinin küçük tutulması ve blokların kaydırmalı adımlarla yerdeğiştirmesi sonuçları olumlu etkilemektedir.

Zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri öne çıkmakta, bandwise histogram eşitleme için kaydırmalı uygulamalarda farklı interpolasyon yöntemlerinin seçilmesi sonuçları olumsuz etkileyebilmektedir.

**Çizelge 4.7 : QNR metriğine göre Brovey sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
1024	1024	imrsz_ner	noHS	0,3043
1024	1024	intp_ner	inHS	0,8443
1024	1024	imrsz_ner	bdHS	0,7600
128	128	imrsz_ner	noHS	0,3043
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>intp_cub</b>	<b>inHS</b>	<b>0,9093</b>
512	512	imrsz_ner	bdHS	0,7448
512	256	imrsz_ner	noHS	0,3043
4	2	intp_cub	inHS	0,9047
512	256	imrsz_ner	bdHS	0,7505

QNR metriğine göre Brovey yönteminde en iyi sonuçları 4x4'lük bloklara uygulanmış intesitywise histogram eşitleme yöntemi vermektedir. Bir önceki sonuçlardan farklı olarak burada cubic interpolasyon yöntemi öne çıkmaktadır.

UIQI metriğinden alınan sonuçlara paralel seçilde bu metrik değerleri için de histogram eşitleme yapılmamasının sonuçları olumsuz etkilediği açıkça görülmektedir. UIQI'dan farklı olarak benzer uygulama alanı ve histogram işlemleri için cubic interpolasyon yöntemi linear interpolasyon yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.8 : Tüm Brovey sonuçları**

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	4	4	intp_lin	inHS	<b>0,0173</b>
SAM	4	4	intp_lin	inHS	<b>0,1643</b>
RASE	4	4	intp_lin	inHS	<b>0,1699</b>
ERGAS	4	4	intp_lin	bdHS	<b>0,0108</b>
UIQI	4	2	intp_lin	inHS	<b>0,7783</b>
QNR	4	4	intp_cub	inHS	<b>0,9093</b>

Tüm metriklerden elde edilmiş olan en iyi Brovey sonuçlarına Çizelge 4.8’de yer verilmiştir.

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde Brovey yöntemi için UIQI metriği hariç 4x4’lük bloklara fusion işleminin uygulanmasının daha iyi sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir.

Interpolasyon yöntemleri genel olarak zaman bölgesinde yoğunlaşmakta, QNR metriği için diğerlerinden farklı değer almaktadır. Histogram eşitleme işleminin uygulanması ideale yakın sonuçlar için gereklidir.

İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

#### 4.2.2 IHS yöntemi sonuçları

**Çizelge 4.9 : RMSE metriğine göre IHS sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,0714	0,0714	0,071	0,0713
1024	1024	intp_ner	inHS	0,0253	0,0247	0,0236	0,0246
1024	1024	imrsz_bln	bdHS	0,0285	0,0258	0,0204	0,0249
4	4	intp_lin	noHS	0,0714	0,0714	0,0710	0,0713
4	4	imrsz_bln	inHS	0,0173	0,0178	0,0155	0,0169
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,0247	0,0212	0,0177	0,0212
4	1	intp_lin	noHS	0,0714	0,0714	0,0710	0,0713
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>imrsz_bln</b>	<b>inHS</b>	<b>0,0163</b>	<b>0,0169</b>	<b>0,0148</b>	<b>0,0160</b>
4	2	imrsz_bln	bdHS	0,0234	0,0206	0,0172	0,0204

RMSE metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları 4x4’lük alanlara intersitywise histogram eşitlemenin uygulandığı frekans bölgesi bilinear interpolasyon yöntemi vermektedir.

Uygulama alanı olarak fusion işleminin uygulanacağı pencere boyutlarının ve bir sonraki pencereye geçişi belirleyen adım sayılarının oldukça küçük seçilmesi sonuçları olumlu etkilemektedir.

Histogram eşitleme işleminin yapılmamış olması fusion işleminin olumsuz etkilemektedir.

**Çizelge 4.10 : SAM metriğine göre IHS sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	imrsz_bln	noHS	0,3095	0,3284	0,3516	0,3298
1024	1024	imrsz_ner	inHS	0,2372	0,2348	0,2266	0,2329
1024	1024	imrsz_bln	bdHS	0,2662	0,2451	0,1966	0,2360
4	4	imrsz_bln	noHS	0,3095	0,3284	0,3516	0,3298
4	4	imrsz_bln	inHS	0,1618	0,1699	0,1493	0,1603
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,2231	0,2012	0,1710	0,1985
4	1	imrsz_bln	noHS	0,3095	0,3284	0,3516	0,3298
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>imrsz_bln</b>	<b>inHS</b>	<b>0,1521</b>	<b>0,1610</b>	<b>0,1427</b>	<b>0,1519</b>
4	2	imrsz_bln	bdHS	0,2098	0,1943	0,1657	0,1899

SAM metriğine göre 4x4'lük bloklar halinde fusion işlemi yapılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Değerler histogram eşitleme uygulanması halinde RMSE metriğine yakın değerler vermekte iken histogram eşitleme işleminin uygulanmaması bu metrikte daha az olumsuzluk oluşturmaktadır.

Uygulanacak interpolasyon yöntemleri de zaman bölgesinden frekans bölgesine kaymakta, küçük boyutlu uygulama alanları daha iyi sonuçlar vermektedir. RMSE metriğine göre benzer şartlarda daha az iyi sonuçlar vermektedir (histogram eşitleme uygulanması halinde).

**Çizelge 4.11 : RASE metriğine göre IHS sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,6989
1024	1024	intp_ner	inHS	0,2409
1024	1024	imrsz_bln	bdHS	0,2466
4	4	intp_lin	noHS	0,6989
4	4	imrsz_bln	inHS	0,1658
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,2101
4	1	intp_lin	noHS	0,6989
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>imrsz_bln</b>	<b>inHS</b>	<b>0,1573</b>
4	2	imrsz_bln	bdHS	0,2014

RASE metriği de SAM ve RMSE metriklerine benzer şekilde intensity histogram eşitlemede daha iyi sonuçlar vermektedir. Uygulama alanı yine 4x4'lük bloklar olarak seçilmeli ve 2'şerli adımlar ile kaydırma işlemi uygulanmalıdır.

Histogram eşitleme işleminin uygulanması RMSE metriğinden olduğu gibi RASE metriği için de öne çıkmaktadır. RMSE ve SAM metriğinden farklı olarak en iyi sonuç değeri ideal değerden biraz daha uzaklaşmakta, öne çıkan intepolasyon yöntemi ise frekans bölgesinden zaman bölgesine kaymaktadır.

**Çizelge 4.12 : ERGAS metriğine göre IHS sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,0343
1024	1024	intp_ner	inHS	0,0118
1024	1024	imrsz_bln	bdHS	0,0121
4	4	intp_lin	noHS	0,0343
4	4	imrsz_bln	inHS	0,0081
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,0103
4	1	intp_lin	noHS	0,0343
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>imrsz_bln</b>	<b>inHS</b>	<b>0,0077</b>
4	2	imrsz_bln	bdHS	0,0099

ERGAS metriğine göre de yine küçük blokların seçilmesi uygulama alanı olarak öne çıkmaktadır. Diğer metriklerle oranla sonuçlar ideal değere yaklaşmış, frekans bölgesi interpolasyonların sonuçlarda yine çıkan bir etkisi olmuştur.

Histogram eşitleme yapılmamasının sonuçlar üzerindeki etkisi oldukça azalmaktadır.

**Çizelge 4.13 : UIQI metriğine göre IHS sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,4099	0,3397	0,0506	0,2668
1024	1024	intp_cub	inHS	0,7271	0,6824	0,4106	0,6067
1024	1024	intp_cub	bdHS	0,6801	0,6730	0,3452	0,5661
4	4	intp_lin	noHS	0,4099	0,3397	0,0506	0,2668
4	4	imrsz_bln	inHS	0,8704	0,8175	0,6709	0,7863
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,8190	0,7957	0,5437	0,7195
4	1	intp_lin	noHS	0,4099	0,3397	0,0506	0,2668
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>imrsz_bln</b>	<b>inHS</b>	<b>0,8856</b>	<b>0,8381</b>	<b>0,7045</b>	<b>0,8094</b>
4	2	imrsz_bln	bdHS	0,8389	0,8113	0,5755	0,7419

UIQI metriğine göre en iyi sonuçlar 4x4'lük blokları 2'şerli adımlarla kaydırarak elde edilebilmektedir.

Histogram eşitleme uygulanmaması sonuçları olumsuz etkilemektedir. Aynı uygulama alanı ve interpolasyon yöntemi için histogram eşitleme işleminin uygulanmasının sonuçları ne kadar olumlu etkilediği RGB bandlarında açıkça görülmektedir. Ayrıca benzer şekilde bandwise mi intersitywise mi seçilmeli sorusunun cevabı da bu metrikte net olarak yanıtlanabilmektedir örneğin 4x4-1 kaydırmalı uygulama alanı için sonuçlar incelendiğinde bu fark belirgin şekilde görülmektedir.

**Çizelge 4.14 : QNR metriğine göre IHS sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	imrsz_bln	noHS	0,1864
1024	1024	intp_ner	inHS	0,8496
1024	1024	imrsz_ner	bdHS	0,7906
4	4	imrsz_bln	noHS	0,1864
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>imrsz_ner</b>	<b>inHS</b>	<b>0,9152</b>
512	512	imrsz_ner	bdHS	0,7732
4	1	imrsz_bln	noHS	0,1864
4	2	imrsz_ner	inHS	0,9037
512	1	imrsz_ner	bdHS	0,7816

QNR metriğine göre Brovey yönteminde en iyi sonuçları 4x4'lük bloklara uygulanmış birleştirme için frekans bölgesinde intepole edilmesi intesitywise histogram eşitleme yöntemi vermektedir.

UIQI metriğinden alınan sonuçlara paralel şekilde bu metrik değerleri için de histogram eşitleme yapılmamasının sonuçları olumsuz etkilediği açıkça görülmektedir.

Ayrıca kaydırmalı işlemlerde intersitywise'dan bandwise geçilmesi blok boyutlarını 4x4'ten 512x512'ye yükseltmektedir aynı interpolasyon yöntemi için.

UIQI'dan farklı olarak benzer uygulama alanı ve histogram işlemi için nerearest interpolasyon yöntemi linear interpolasyon yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.15 : Tüm IHS sonuçları**

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	4	2	imrsz_bln	inHS	<b>0,0160</b>
SAM	4	2	imrsz_bln	inHS	<b>0,1519</b>
RASE	4	2	imrsz_bln	inHS	<b>0,1573</b>
ERGAS	4	2	imrsz_bln	inHS	<b>0,0077</b>
UIQI	4	2	imrsz_bln	inHS	<b>0,8094</b>

QNR	4	4	imrsz_ner	inHS	<b>0,9152</b>
-----	---	---	-----------	------	---------------

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde ise IHS yönteminde en iyi sonuçlar fusion işleminin küçük uygulama alanlarında (4x4) küçük kaydırma adımları seçilerek yapılması gerekliliğini göstermektedir.

Histogram eşitleme işlemi uygulanmalı ve tüm metrikler için intersitywise seçilmesi gerekmektedir.

İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

#### 4.2.3 PCA sonuçları

**Çizelge 4.16 : RMSE göre PCA sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,0266	0,0168	0,0140	0,0191
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0266	0,0168	0,0140	0,0191
4	4	intp_lin	noHS	0,0132	0,0131	0,0109	0,0124
4	4	intp_lin	inHS	0,0132	0,0131	0,0109	0,0124
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0132</b>	<b>0,0130</b>	<b>0,0107</b>	<b>0,0123</b>
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,0132</b>	<b>0,0130</b>	<b>0,0107</b>	<b>0,0123</b>

PCA metriğinde bandwise histogram eşitleme işlemi yapılamayacağı için sonuçlarda bdHS değerleri incelenmemektedir.

RMSE metriğine göre en iyi sonuçları lineer interpolasyon yöntemi 4'erli blokları 2'şer adımlarla kaydırma yönteminde vermektedir. Sonuçlar bu metriğin IHS ve PCA değerlerine göre ideale daha yakın değerler vermektedir. İlginç olarak histogram eşitleme işleminin olması ya da olmaması adım kaydırmalı işlemlerde fark yaratmadığı görülmektedir.

**Çizelge 4.17 : SAM göre PCA sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,2493	0,1583	0,1343	0,1806
1024	1024	intp_lin	inHS	0,2493	0,1583	0,1343	0,1806
4	4	intp_lin	noHS	0,1233	0,1249	0,1054	0,1179
4	4	intp_lin	inHS	0,1233	0,1249	0,1054	0,1179
4	2	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1227</b>	<b>0,1240</b>	<b>0,1030</b>	<b>0,1166</b>
4	2	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,1227</b>	<b>0,1240</b>	<b>0,1030</b>	<b>0,1166</b>



SAM metriğine göre en iyi sonuçları RMSE metriğinde olduğu gibi lineer interpolasyon yöntemi 4'erli blokları 2'şer adımlarla işleminde yönteminde vermektedir.

RMSE metriğine göre biraz daha idealden uzak değerler elde edilmektedir. Benzer şekilde kaydırmalı işlemlerde histogram eşitleme işlemi sonuçları etkilememektedir.

**Çizelge 4.18 : RASE göre PCA sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,1950
1024	1024	intp_lin	inHS	0,1950
4	4	intp_lin	noHS	0,1224
4	4	intp_lin	inHS	0,1224
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1212</b>
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,1212</b>

RASE metriğine göre en iyi sonuçları lineer interpolasyon yöntemi 4'erli blokları 2'şer adımlarla kaydırma yönteminde vermektedir.

Bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.19 : ERGAS göre PCA sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	intp_lin	noHS	0,0096
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0096
4	4	intp_lin	noHS	0,0060
4	4	intp_lin	inHS	0,0060
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0059</b>
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,0059</b>

ERGAS metriğine göre en iyi sonuçları lineer interpolasyon uygulanmış 4'erli blokları 2'şerli adımlarla kaydırma yönteminde vermektedir.

Sonuçlar diğer metriklerden farklı olarak ideal değere oldukça yakın değerler vermektedir.

**Çizelge 4.20 : UIQI göre PCA sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_cub	noHS	0,5717	0,8696	0,7862	0,7425
1024	1024	intp_cub	inHS	0,5717	0,8696	0,7862	0,7425
8	8	intp_lin	noHS	0,9005	0,9052	0,8671	0,8910

8	8	intp_lin	inHS	0,9005	0,9052	0,8671	0,8910
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9266</b>	<b>0,9056</b>	<b>0,8445</b>	<b>0,8922</b>
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>intp_lin</b>	<b>inHS</b>	<b>0,9266</b>	<b>0,9056</b>	<b>0,8444</b>	<b>0,8922</b>

UIQI metriği de RMSE, RASE, SAM ve ERGAS metriklerine benzer şekilde 4x4'lük bloklara uygulanmış fusion işlemleri için daha iyi sonuçlar vermektedir.

Benzer şekilde histogram işleminin PCA yöntemi için bir katkısından söz etmek zordur. Zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.21 : QNR göre PCA sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	intp_ner	noHS	0,8072
1024	1024	intp_ner	inHS	0,8072
8	8	imrs_ner	noHS	0,9764
8	8	imrs_ner	inHS	0,9764
<b>4</b>	<b>1</b>	<b>imrs_lc2</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9786</b>
<b>4</b>	<b>1</b>	<b>imrs_bcb</b>	<b>inHS</b>	<b>0,9786</b>

QNR metriğine göre en iyi sonuçları 4x4'lük blokları 1'er adımlarla kaydırma işlemlerinde vermektedir.

Aynı alan ve pencere boyutu için histogram eşitleme işlemi uygulandığında en ideal sonucu veren interpolasyon yöntemi değişmesine rağmen sonuçlar aynı kalmaktadır.

**Çizelge 4.22 : Tüm PCA sonuçları**

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	4	2	intp_lin	inHS	0,0123
SAM	4	2	intp_lin	inHS	0,1166
RASE	4	2	intp_lin	inHS	0,1212
ERGAS	4	2	intp_lin	inHS	0,0059
UIQI	4	2	intp_lin	inHS	0,8922
QNR	4	1	imrs_bcb	inHS	0,9785

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde ise PCA yöntemi için en ideal sonuçların 4x4'lük blokların adım kaydırmalı olarak uygulanmasıyla elde edilebileceği görülmektedir.

Histogram eşitleme işleminin sonuçlara olumlu bir katkısı olmadığı için (noHS değerleri ile inHS değerleri eşittir) bu tabloda noHS değerlerine tekrardan ayrıca yer verilmemiştir.

İnterpolasyon yöntemi olarak zaman bölgesi linear intepolasyon öne çıkarken QNR metriği için bu değer frekans bölgesine kaymaktadır.

İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

#### 4.2.4 İdeal FFT sonuçları

**Çizelge 4.23 : RMSE metriğine göre ideal FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kayıdırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0121</b>	<b>0,0134</b>	<b>0,0098</b>	<b>0,0118</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0164	0,0175	0,0148	0,0162
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0201	0,0193	0,0124	0,0173
<b>256</b>	<b>256</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0122</b>	<b>0,0135</b>	<b>0,0098</b>	<b>0,0118</b>
4	4	intp_lin	inHS	0,0144	0,0156	0,013	0,0144
4	4	intp_lin	bdHS	0,0155	0,0164	0,0122	0,0147
<b>256</b>	<b>128</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0122</b>	<b>0,0135</b>	<b>0,0098</b>	<b>0,0118</b>
4	2	intp_lin	inHS	0,0140	0,0154	0,0128	0,0140
4	2	intp_lin	bdHS	0,0151	0,0161	0,0119	0,0144

RMSE metriğine göre lineer interpolasyon yöntemi histogram eşitleme yapılmadığında daha iyi sonuçlar verirken uygulamanın 1024x1024'lük alanın tamamına bir bütün olarak uygulanması ondalık düzeyde de olsa daha iyi sonuçlar vermektedir.

Kayıdırma adımlarının etkisi azalmakta, interpolasyon yöntemleri değişmemektedir.

**Çizelge 4.24 : SAM metriğine göre ideal FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kayıdırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1141</b>	<b>0,1286</b>	<b>0,096</b>	<b>0,1129</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,1538	0,1669	0,1438	0,1548
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1876	0,1834	0,1213	0,1641
512	512	intp_lin	noHS	0,1145	0,1288	0,0961	0,1131
4	4	intp_lin	bdHS	0,1452	0,1563	0,1194	0,1403
4	4	intp_lin	inHS	0,1355	0,1493	0,1271	0,1373
512	256	intp_lin	noHS	0,1144	0,1288	0,0961	0,1131
4	2	intp_lin	inHS	0,1313	0,1468	0,1246	0,1343
4	2	intp_lin	bdHS	0,1412	0,1540	0,1166	0,1373

SAM metriğine göre lineer interpolasyon yöntemi 1024x1024'lük tüm görüntü yüzeyine uygulandığında daha iyi sonuçlar vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 4x4'lük bloklar şeklinde kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 4x4'lük blokları 2'şerli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Histogram eşitleme işlemi uygulandığında ise küçük bloklar şeklinde seçilecek uygulama alanlarının yine küçük adımlar ile kaydırılması daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.25 : RASE metriğine göre ideal FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1165</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,1598
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1729
512	512	intp_lin	noHS	0,1167
4	4	intp_lin	inHS	0,1413
4	4	intp_lin	bdHS	0,1452
512	256	intp_lin	noHS	0,1167
4	2	intp_lin	inHS	0,1381
4	2	intp_lin	bdHS	0,1421

RASE metriğine göre de lineer interpolasyon yöntemi 1024x1024'lük tüm görüntü yüzeyine uygulandığında daha iyi sonuçlar vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 4x4'lük blokları 4 adım kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 4x4'lük blokları 2'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

En iyi sonuç ise uygulama alanı ve kaydırma adımından bağımsız olarak linear interpolasyon yöntemlerinde elde edilmektedir.

**Çizelge 4.26 : ERGAS metriğine göre ideal FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>2_intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0057</b>
1024	1024	2_intp_lin	inHS	0,0078
1024	1024	2_intp_lin	bdHS	0,0085
<b>256</b>	<b>256</b>	<b>2_intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0057</b>
4	4	2_intp_lin	inHS	0,0069
4	4	2_intp_lin	bdHS	0,0071
<b>256</b>	<b>128</b>	<b>2_intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0057</b>
4	2	2_intp_lin	inHS	0,0068

4	2	2_intp_lin	bdHS	0,0070
---	---	------------	------	--------

ERGAS metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları histogram eşitlemesiz linear interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 4x4'lük blokları 4 adım kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 4x4'lük blokları 2'şerli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

ERGAS metriği de RMSE ve SAM metriklerinden farklı olarak uygulama alanı etkisini yansıtmakta zayıf kalmaktadır.

**Çizelge 4.27 : UIQI metriğine göre ideal FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9395</b>	<b>0,8983</b>	<b>0,8562</b>	<b>0,8980</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,8902	0,8353	0,7150	0,8135
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,8432	0,8066	0,7822	0,8107
512	512	intp_cub	noHS	0,9392	0,8980	0,8560	0,8977
4	4	intp_lin	inHS	0,9132	0,8661	0,7728	0,8507
4	4	intp_lin	bdHS	0,9013	0,8551	0,7946	0,8503
512	256	intp_cub	noHS	0,9392	0,8980	0,8560	0,8977
4	2	intp_lin	inHS	0,9188	0,8707	0,7807	0,8567
4	2	intp_lin	bdHS	0,9070	0,8595	0,8030	0,8565

UIQI metriğine göre de cubic interpolasyon yönteminin histogram eşitleme yapmadan tüm yüzeye uygulanması için en iyi sonuçları vermektedir. Diğer metriklerden farklı olarak yüzey alanındaki değişimlerin etkisi gözlenebilmektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 4x4'lük blokları 4 adım kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 4x4'lük blokları 2'şerli adımlarla kaydırmak gerekmektedir..

**Çizelge 4.28 : QNR metriğine göre ideal FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	imrsz_ner	noHS	0,9491
1024	1024	imrsz_ner	inHS	0,9032
1024	1024	imrsz_ner	bdHS	0,8995
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>imrsz_ner</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9702</b>
4	4	imrsz_ner	inHS	0,9333
4	4	imrsz_ner	bdHS	0,9427
128	1	intp_ner	noHS	0,0224
128	1	intp_ner	inHS	0,0247

512	1	intp_ner	bdHS	0,0281
-----	---	----------	------	--------

QNR metriğine göre en iyi sonuçları diğer metriklerden farklı olarak tüm yüzey değil 4x4'lük bloklara uygulanması halinde vermektedir. Öne çıkan interpolasyon yöntemleri de frekans bölgesinden zaman bölgesine kaymaktadır. UIQI'da olduğu gibi uygulama alanındaki değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkisi gözlenebilmektedir.

Intensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 4x4'lük blokları uygulamak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede de aynı şekilde 4x4'lük bloklarda daha iyi sonuçlar vermektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır. Bandwise histogram eşitleme sonuçları intensitywise eşitlemeye göre ideale daha yakındır.

Ayrıca kaydırmalı işlemlerin uygulanması belirgin şekilde sonuçları ideal değerden uzaklaştırmaktadır. QNR metriğinde kaydırma etkisi UIQI metriğine göre oldukça belirgindir.

**Çizelge 4.29 :** Tüm ideal FFT sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	1024	1024	intp_lin	noHS	0,0118
SAM	1024	1024	intp_lin	noHS	0,1129
RASE	1024	1024	intp_lin	noHS	0,1165
ERGAS	1024	1024	intp_lin	noHS	0,0057
UIQI	1024	1024	intp_cub	noHS	0,8980
QNR	4	4	imrsz_ner	noHS	0,9702

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde ise ideal FFT filtresi için QNR metriği hariç ideal sonuçları fusion işleminin tüm yüze uygulanması vermekteyken, QNR için 4x4'lük bloklara uygulanması halinde vermektedir.

Öne çıkan interpolasyon yöntemi QNR metriği için frekans bölgesi, diğer metrikler için zaman bölgesi interpolasyon yöntemleridir. Histogram eşitleme işleminin etkisi filtreli yöntemlerde azaltmakta, bu anlamda işlem karmaşıklığının azaltılmasında olumlu etkisi olmaktadır.

İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

#### 4.2.5 Gaussian FFT sonuçları

**Çizelge 4.30 : RMSE metriğine göre Gaussian FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0110</b>	<b>0,0123</b>	<b>0,0088</b>	<b>0,0107</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0139	0,0149	0,0119	0,0136
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0163	0,016	0,0104	0,0142
<b>256</b>	<b>256</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0111</b>	<b>0,0123</b>	<b>0,0088</b>	<b>0,0107</b>
16	16	intp_lin	inHS	0,0133	0,0141	0,0108	0,0127
8	8	intp_lin	bdHS	0,0146	0,0148	0,0099	0,0131
<b>256</b>	<b>128</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0111</b>	<b>0,0123</b>	<b>0,0088</b>	<b>0,0107</b>
16	8	intp_lin	inHS	0,0133	0,0141	0,0108	0,0127
8	4	intp_lin	bdHS	0,0145	0,0148	0,0100	0,0131

RMSE metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları histogram eşitlemesiz cubic interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lık blokları 16 adım kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Gaussian filtreleme bu metriğe göre zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.31 : SAM metriğine göre Gaussian FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1041</b>	<b>0,1179</b>	<b>0,0866</b>	<b>0,1029</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,1309	0,1420	0,1167	0,1299
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1528	0,1525	0,1022	0,1358
512	512	intp_cub	noHS	0,1043	0,1180	0,0866	0,1030
16	16	intp_lin	inHS	0,1252	0,1347	0,1061	0,1220
8	8	intp_lin	bdHS	0,1370	0,1417	0,0973	0,1253
512	128	intp_cub	noHS	0,1044	0,1180	0,0867	0,1030
16	8	intp_lin	inHS	0,1251	0,1347	0,1062	0,1220
8	4	intp_lin	bdHS	0,1365	0,1416	0,0979	0,1253

SAM metriğine göre en iyi sonuçları 1024x1024'lük tüm yüzey için histogram eşitlemesiz cubic interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lık blokları 16'lı adımlar şeklinde kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 8'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Histogram eşitleme işlemi uygulanması halinde fusion uygulama yüzeyinin oldukça küçük tutulması ve kaydırma adım boyutlarının da küçük tutulmasının iyi olacağı görülmektedir.

**Çizelge 4.32 : RASE metriğine göre Gaussian FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1060</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,1337
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1421
512	512	intp_cub	noHS	0,1061
16	16	intp_lin	inHS	0,1258
8	8	intp_lin	bdHS	0,1305
512	256	intp_cub	noHS	0,1061
16	8	intp_lin	inHS	0,1257
8	4	intp_lin	bdHS	0,1304

RASE metriğine göre en iyi sonuçları 1024x1024'lük tüm yüzey için histogram eşitlemesiz cubic interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lık blokları 16'lı adımlar şeklinde kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 8'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Bu metrikten elde edilen sonuçlar yorumladığında histogram eşitleme işlemi uygulanması halinde fusion uygulama yüzeyinin ve adımlarının oldukça küçük tutulmasının iyi olacağı görülmektedir.

**Çizelge 4.33 : ERGAS metriğine göre Gaussian FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0052</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0066
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0070



<b>64</b>	<b>64</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0052</b>
8	8	intp_lin	inHS	0,0062
8	8	intp_lin	bdHS	0,0064
<b>64</b>	<b>32</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0052</b>
8	4	intp_lin	inHS	0,0062
8	4	intp_lin	bdHS	0,0064

ERGAS metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları histogram eşitlemesiz cubic interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 8x8'lik blokları 8'erli adımlarla kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

En iyi sonuç ise uygulama alanı ve kaydırma adımından bağımsız olarak fusion uygulamasını histogram eşitlemesiz cubic interpolasyon yöntemlerinde elde edilmektedir.

**Çizelge 4.34 : UIQI metriğine göre Gaussian FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9476</b>	<b>0,9126</b>	<b>0,8805</b>	<b>0,9136</b>
1024	1024	intp_cub	inHS	0,9204	0,8769	0,7942	0,8638
1024	1024	intp_cub	bdHS	0,8926	0,8595	0,8366	0,8629
512	512	intp_cub	noHS	0,9474	0,9125	0,8804	0,9134
16	16	intp_lin	inHS	0,923	0,8851	0,8238	0,8773
16	16	intp_lin	bdHS	0,9081	0,8745	0,8492	0,8773
512	256	intp_cub	noHS	0,9475	0,9125	0,8804	0,9134
16	8	intp_lin	inHS	0,9233	0,8853	0,8238	0,8775
16	8	intp_lin	bdHS	0,9081	0,8748	0,8493	0,8774

UIQI metriğine göre en iyi sonuçlar uygulama alanı tüm yüzeye tek bir blok olarak uygulandığında elde edilmektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lik bloklar şeklinde uygulamak gerekirken; bandwise histogram eşitlemede 16x16'lik blokları 8'li adımlar ile kaydırmak daha iyi sonuçlar vermektedir. Aynı interpolasyon ve uygulama alanı için bandwise histogram eşitleme çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

Gaussian filtreleme uygulaması için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.35 : QNR metriğine göre Gaussian FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9172</b>
1024	1024	intp_cub	inHS	0,8972
1024	1024	intp_cub	bdHS	0,8967
128	128	intp_cub	noHS	0,9171
4	4	intp_lin	inHS	0,9065
4	4	intp_lin	bdHS	0,9134
128	1	intp_ner	noHS	0,0193
128	1	intp_ner	inHS	0,0207
128	1	intp_ner	bdHS	0,0230

QNR metriğine göre en iyi sonuçlar uygulama alanı tüm yüzeye tek bir blok olarak uygulandığında elde edilmektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 4x4'lük blokları uygulamak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede de aynı şekilde 4x4'lük bloklarda daha iyi sonuçlar vermektedir ve ideal değerlere daha çok uzaklaşmaktadır.

Ayrıca kaydırmalı işlemler belirgin şekilde sonuçları ideal değerden uzaklaştırmaktadır. Kaydırma işlemlerinde sonuçların iyileşmesi anlamında histogram eşitleme işleminin etkisi azalmaktadır.

**Çizelge 4.36 : Tüm Gaussian FFT sonuçları**

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0107
SAM	1024	1024	intp_cub	noHS	0,1029
RASE	1024	1024	intp_cub	noHS	0,1060
ERGAS	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0052
UIQI	1024	1024	intp_cub	noHS	0,9136
QNR	1024	1024	intp_cub	noHS	0,9172

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde ise Gaussian filtreleme için fusion işleminin tüm yüze uygulandığında en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmektedir.

İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

İnterpolasyon yöntemlerinden ise zaman bölgesi cubic interpolasyon işlemi histogram eşitleme işlemi olmadan uygulanmalıdır.

İdeal FFT yönteminde olduğu gibi bu yöntem için de histogram eşitleme işleminin etkisi azalmıştır.

#### 4.2.6 Butterworth N1 FFT sonuçları

**Çizelge 4.37** : RMSE metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0113</b>	<b>0,0125</b>	<b>0,0089</b>	<b>0,0109</b>
1024	1024	intp_cub	inHS	0,0144	0,0153	0,0124	0,0140
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0170	0,0165	0,0107	0,0147
<b>512</b>	<b>512</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0114</b>	<b>0,0125</b>	<b>0,0089</b>	<b>0,0109</b>
8	8	intp_lin	inHS	0,0140	0,0145	0,0110	0,0132
8	8	intp_lin	bdHS	0,0152	0,0152	0,0101	0,0135
<b>512</b>	<b>128</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0114</b>	<b>0,0125</b>	<b>0,0089</b>	<b>0,0109</b>
8	4	intp_lin	inHS	0,0140	0,0145	0,0111	0,0132
8	4	intp_lin	bdHS	0,0151	0,0152	0,0102	0,0135

RMSE metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları histogram eşitlemesiz spline interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 8x8'lik blokları 8 adım kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Butterworth yöntemi için bu metriğe göre zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.38** : SAM metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1068</b>	<b>0,1200</b>	<b>0,0880</b>	<b>0,1049</b>
1024	1024	intp_cub	inHS	0,1350	0,1462	0,1213	0,1342
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1593	0,1574	0,1050	0,1406
512	512	intp_spl	noHS	0,1070	0,1201	0,0880	0,1050
16	16	intp_lin	inHS	0,1307	0,1385	0,1088	0,1260
8	8	intp_lin	bdHS	0,1422	0,1452	0,0994	0,1289
512	256	intp_spl	noHS	0,1070	0,1201	0,0880	0,1050
16	8	intp_lin	inHS	0,1306	0,1385	0,1089	0,1260
8	4	intp_lin	bdHS	0,1420	0,1453	0,0999	0,1291

SAM metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları histogram eşitlemesiz spline interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lik blokları 8 adım kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Butterworth yöntemi için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

RMSE metriği ile karşılaştırıldığında aynı interpolasyon yöntemleri için sonuçların daha kötüleştiği, blokların ve kaydırma adımlarının büyüdüğü görülmektedir.

**Çizelge 4.39** : RASE metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1082</b>
1024	1024	intp_cub	inHS	0,1381
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1472
512	512	intp_spl	noHS	0,1083
16	16	intp_lin	inHS	0,1300
8	8	intp_lin	bdHS	0,1344
512	256	intp_spl	noHS	0,1083
16	8	intp_lin	inHS	0,1300
8	4	intp_lin	bdHS	0,1345

RASE metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları tüm yüzeye uygulanmış histogram eşitlemesiz spline interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lık blokları 16'lı adımlar kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 8'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Butterworth yöntemi için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

En iyi sonuç ise uygulama alanı ve kaydırma adımından bağımsız olarak fusion uygulamasını histogram eşitlemesiz spline interpolasyon yöntemlerinde elde edilmektedir. RASE metriği RMSE ve SAM metriklerinden farklı olarak uygulama alanı etkisini yansıtmakta zayıf kalmaktadır.

**Çizelge 4.40 :** ERGAS metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0053</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0068
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0072
<b>128</b>	<b>128</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0053</b>
8	8	intp_lin	inHS	0,0064
8	8	intp_lin	bdHS	0,0066
<b>128</b>	<b>64</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0053</b>
8	4	intp_lin	inHS	0,0064
8	4	intp_lin	bdHS	0,0066

ERGAS metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları histogram eşitlemesiz spline interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 8x8'lik blokları 8 adım kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Butterworth yöntemi için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.41 :** UIQI metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9443</b>	<b>0,9085</b>	<b>0,8754</b>	<b>0,9094</b>
1024	1024	intp_spl	inHS	0,9138	0,8688	0,7802	0,8543
1024	1024	intp_spl	bdHS	0,8834	0,8498	0,8261	0,8531
512	512	intp_spl	noHS	0,9441	0,9083	0,8752	0,9092
16	16	intp_lin	inHS	0,9150	0,8771	0,8134	0,8685
16	16	intp_lin	bdHS	0,8992	0,8659	0,8401	0,8684
512	256	intp_spl	noHS	0,9441	0,9083	0,8752	0,9092
16	8	intp_lin	inHS	0,9152	0,8773	0,8136	0,8687
16	8	intp_lin	bdHS	0,8992	0,8663	0,8403	0,8686

UIQI metriğine göre en iyi sonuçlar uygulama alanı tüm yüzeye tek bir blok olarak uygulandığında elde edilmektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lik bloklara uygulamak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 16x16'lik blokları 8'erli adımlarla kaydırmalı uygulamak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

Butterworth yöntemi bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.42 : QNR metriğine göre Butterworth N1 FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	imrsz_lc3	noHS	0,9186
1024	1024	imrsz_lc3	inHS	0,8920
1024	1024	imrsz_lc3	bdHS	0,8913
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>imrsz_ner</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9196</b>
4	4	imrsz_bln	inHS	0,9133
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>imrsz_bln</b>	<b>bdHS</b>	<b>0,9196</b>
128	1	intp_ner	noHS	0,0197
128	1	intp_ner	inHS	0,0210
128	1	intp_ner	bdHS	0,0233

QNR metriğine göre en iyi sonuçlar 4x4'lük blokların 4'erli adımlar ile kaydırılması durumunda elde edilmektedir.

Ayrıca histogram eşitleme işlemleri yapıldığında kaydırmalı işlemler belirgin şekilde sonuçları ideal değerden uzaklaştırmaktadır. Verilerden elde edilen bir diğer sonuç ise aynı interpolasyon yöntemi için uygulama alanı bloklardan adım kaydırmalıya geçtiği zaman interpolasyon yönteminin de frekans bölgesinden ve zaman bölgesine kaydırmak gerektiğidir.

**Çizelge 4.43 : Tüm metriklere göre Butterworth N1 FFT sonuçları**

Metrik	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
RMSE	1024	1024	intp_spl	noHS	<b>0,0109</b>
SAM	1024	1024	intp_spl	noHS	<b>0,1049</b>
RASE	1024	1024	intp_spl	noHS	<b>0,1082</b>
ERGAS	1024	1024	intp_spl	noHS	<b>0,0053</b>
UIQI	1024	1024	intp_spl	noHS	<b>0,9094</b>
QNR	4	4	imrsz_ner	noHS	<b>0,9196</b>

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde ise tek kesim frekanslı Butterworth filtresi için ilk beş metriğe göre ideal sonuçları fusion işleminin tüm yüze uygulanması verirken, QNR metriğine göre 4x4'lük bloklar şeklinde uygulanması vermektedir. Yine zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri bu metrik için de öne çıkmaktadır.

İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

#### 4.2.7 Butterworth N2 FFT sonuçları

**Çizelge 4.44 : RMSE göre Butterworth N2 FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0114</b>	<b>0,0127</b>	<b>0,0091</b>	<b>0,0111</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0150	0,0159	0,0131	0,0147
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0179	0,0173	0,0112	0,0155
<b>256</b>	<b>256</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0115</b>	<b>0,0127</b>	<b>0,0092</b>	<b>0,0111</b>
16	16	intp_lin	inHS	0,0142	0,0149	0,0117	0,0136
8	8	intp_lin	bdHS	0,0158	0,0158	0,0106	0,0141
<b>256</b>	<b>128</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0115</b>	<b>0,0127</b>	<b>0,0092</b>	<b>0,0111</b>
16	8	intp_lin	inHS	0,0142	0,0149	0,0117	0,0136
8	4	intp_lin	bdHS	0,0157	0,0158	0,0106	0,0140

RMSE metriğine göre global, blok ve kaydırmalı blok fusion uygulamasında en iyi sonuçları histogram eşitlemesiz cubic interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lük blokları kaydırmalı olarak uygulamak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

2. dereceden Butterworth yöntemi için bu metriğe göre zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.45 : SAM göre Butterworth N2 FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1066</b>	<b>0,1216</b>	<b>0,0903</b>	<b>0,1061</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,1407	0,1522	0,1279	0,1403
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1677	0,1653	0,11	0,1476
512	512	intp_spl	noHS	0,1068	0,1217	0,0903	0,1063
16	16	intp_lin	inHS	0,1336	0,1429	0,1147	0,1304

8	8	intp_lin	bdHS	0,1481	0,1515	0,1035	0,1343
512	256	intp_spl	noHS	0,1068	0,1217	0,0903	0,1063
16	8	intp_lin	inHS	0,1333	0,1428	0,1148	0,1303
8	4	intp_spl	bdHS	0,1480	0,151	0,1033	0,1341

SAM metriğine göre en iyi sonuçları 1024x1024'lük tüm yüzey için histogram eşitlemesiz spline interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lık blokları 8'li adımlar ile kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

2.dereceden Butterworth yöntemi için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Histogram uygulandığında uygulama alanının kaydırmalı olarak seçilmesi daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak intensitywise histogram eşitleme sonuçları bandwise histogram eşitlemeye göre daha iyidir.

**Çizelge 4.46 : RASE göre Butterworth N2 FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kayıdırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,1094</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,1445
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,1549
512	512	intp_spl	noHS	0,1095
16	16	intp_lin	inHS	0,1345
8	8	intp_lin	bdHS	0,1401
512	256	intp_spl	noHS	0,1095
16	8	intp_lin	inHS	0,1343
8	4	intp_lin	bdHS	0,1399

RASE metriğine göre en iyi sonuçları uygulama alanından bağımsız cubic interpolasyon yöntemi vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lık blokları 8'li adımlar ile kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.



2. dereceden Butterworth tekniği için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

SAM metriğinde olduğu gibi histogram uygulandığında uygulama alanının kaydırmalı olarak seçilmesi daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak intensitywise histogram eşitleme sonuçları bandwise histogram eşitlemeye göre daha iyidir.

**Çizelge 4.47 : ERGAS göre Butterworth N2 FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0054</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0071
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0076
<b>128</b>	<b>128</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0054</b>
8	8	intp_lin	inHS	0,0066
8	8	intp_lin	bdHS	0,0069
<b>128</b>	<b>64</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0054</b>
8	4	intp_lin	inHS	0,0066
8	4	intp_lin	bdHS	0,0069

ERGAS metriğine göre en iyi sonuçları uygulama alanından bağımsız cubic interpolasyon yöntemi vermektedir.

Intensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 8x8'lik blokları 4'li adımlar ile kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede de aynı 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

2. dereceden Butterworth tekniği için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

**Çizelge 4.48 : UIQI göre Butterworth N2 FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,946</b>	<b>0,9086</b>	<b>0,8725</b>	<b>0,9090</b>
1024	1024	intp_cub	inHS	0,9081	0,8599	0,7597	0,8426
1024	1024	intp_cub	bdHS	0,872	0,8375	0,8137	0,8411
512	512	intp_spl	noHS	0,9457	0,9084	0,8723	0,9088
16	16	intp_lin	inHS	0,9131	0,8719	0,798	0,8610
16	16	intp_lin	bdHS	0,8935	0,8579	0,831	0,8608
512	256	intp_spl	noHS	0,9457	0,9084	0,8723	0,9088
16	8	intp_lin	inHS	0,9135	0,8722	0,7982	0,8613

16	8	intp_lin	bdHS	0,8937	0,8584	0,8311	0,8611
----	---	----------	------	--------	--------	--------	--------

UIQI metriğine göre en iyi sonuçları tüm yüzeye uygulanmış histogram eşitlemesiz zaman bölgesinde spline interpolasyon metodu vermektedir.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 16x16'lik blokları 8'li adımlar ile kaydırmak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede de aynı 8x8'lik blokları 4'erli adımlarla kaydırmak gerekmektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

2. dereceden Butterworth tekniği için bu metriğe göre de zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri frekans bölgesi interpolasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Histogram eşitleme uygulandığında uygulama alanının kaydırmalı olarak seçilmesi daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak diğer yöntemlerden farklı olarak bu sefer bandwise histogram eşitleme sonuçları intensitywise histogram eşitlemeye göre daha iyidir.

**Çizelge 4.49 : QNR göre Butterworth N2 FFT sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>imrsz_lc3</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9344</b>
1024	1024	imrsz_lc3	inHS	0,9037
1024	1024	imrsz_lc3	bdHS	0,9020
512	512	imrsz_lc3	noHS	0,9343
4	4	imrsz_bln	inHS	0,9089
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,9161
128	1	intp_ner	noHS	0,0208
128	1	intp_ner	inHS	0,0225
128	1	intp_ner	bdHS	0,0252

QNR metriğine göre en iyi sonuçları tüm yüzeye uygulanmış histogram eşitlemesiz zaman bölgesinde spline interpolasyon metodu vermektedir. Diğer metriklerden farklı olarak frekans bölgesi interpolasyon yöntemleri öne çıkmakta, histograme eşitleme işleminin uygulanmasının sonuçlar üzerindeki olumsuz etkisi azalmaktadır.

Instensitywise histogram eşitleme uygulandığında ise 64x64'lük blokları 64'lü bloklar şeklinde uygulamak daha iyi sonuçlar verirken; bandwise histogram eşitlemede de aynı 4x4'lük bloklar daha iyi sonuç vermektedir ancak sonuçlar ideal değerlerden uzaklaşmaktadır.

**Çizelge 4.50** : Tüm metriklere göre Butterworth N2 FFT sonuçları

Metrik	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
RMSE	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0111
SAM	1024	1024	intp_spl	noHS	0,1061
RASE	1024	1024	intp_spl	noHS	0,1094
ERGAS	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0054
UIQI	1024	1024	intp_spl	noHS	0,9090
QNR	1024	1024	imrsz_lc3	noHS	0,9344

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde ise 2.dereceden Butterworth filtresi için tüm metriklere göre ideal sonuçları fusion işleminin tüm yüze uygulanması vermektedir.

Histogram eşitleme işleminin olmaması yine sonuçları olumlu etkilemektedir. Interpolasyon yöntemleri genel olarak zaman bölgesinde kalmakla birlikte QNR metriği için frekans bölgesine kaymıştır.

İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

#### 4.2.8 Karşılaştırmalı sonuçlar

Farklı metrik değerlerine göre elde edilen 1.dereceden ve 2.dereceden Butterworth filtresi sonuçları karşılaştırıldığında kesim frekansı etkisi daha iyi gözlemlenmektedir. Her bir metrik değeri için karşılaştırma sonuçları ayrı ayrı çizelgelerde ifade edilmiştir.

**Çizelge 4.51** : 1024x1024 uygulamada sonuçların karşılaştırması

Yöntem Adı	Metrik Adı	Yeniden Boyutlan.	Histogram Tipi	B1	B2	B3	AVG
IHS	rmse	intp_ner	noHS	0,0716	0,0717	0,0711	0,0714
IHS	sam	intp_ner	noHS	0,3295	0,3489	0,3696	0,3493
IHS	rase	intp_ner	noHS				0,7006
IHS	<b>ergas</b>	intp_ner	noHS				<b>0,0344</b>
IHS	uiqi	intp_ner	noHS	0,4052	0,3296	0,0516	0,2621
IHS	<b>qnr</b>	intp_ner	noHS				0,1715
PCA	<b>rmse</b>	intp_ner	noHS				<b>0,0109</b>
PCA	sam	intp_ner	noHS	0,0285	0,021	0,0165	0,0220
PCA	rase	intp_ner	noHS	0,2686	0,1967	0,1573	0,2075
PCA	ergas	intp_ner	noHS				0,2214
PCA	uiqi	intp_ner	noHS	0,5164	0,8121	0,7312	0,6866
PCA	<b>qnr</b>	intp_ner	noHS				<b>0,8072</b>
BROVEY	<b>rmse</b>	intp_ner	noHS				<b>0,0346</b>
BROVEY	sam	intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719
BROVEY	rase	intp_ner	noHS	0,2321	0,2409	0,1875	0,2202

BROVEY	ergas	intp_ner	noHS	0,2352	0,2497	0,2296	0,2382
BROVEY	uiqi	intp_ner	noHS				0,3042
BROVEY	<b>qnr</b>	intp_ner	noHS				<b>0,7058</b>
FFT-IDEAL	<b>rmse</b>	intp_ner	noHS				<b>0,0066</b>
FFT-IDEAL	sam	intp_ner	noHS	0,0144	0,0153	0,0108	0,0135
FFT-IDEAL	rased	intp_ner	noHS	0,1353	0,1463	0,1063	0,1293
FFT-IDEAL	ergas	intp_ner	noHS				0,1340
FFT-IDEAL	uiqi	intp_ner	noHS	0,9133	0,8695	0,8261	0,8696
FFT-IDEAL	<b>qnr</b>	intp_ner	noHS				<b>0,9300</b>
FFT-GAUSSIAN	<b>rmse</b>	intp_ner	noHS				<b>0,0062</b>
FFT-GAUSSIAN	sam	intp_ner	noHS	0,0137	0,0144	0,01	0,0127
FFT-GAUSSIAN	rased	intp_ner	noHS	0,1286	0,1379	0,0982	0,1216
FFT-GAUSSIAN	ergas	intp_ner	noHS				0,1260
FFT-GAUSSIAN	uiqi	intp_ner	noHS	0,9199	0,8809	0,8462	0,8823
FFT-GAUSSIAN	<b>qnr</b>	intp_ner	noHS				<b>0,9169</b>
FFT-BWTRH-N1	<b>rmse</b>	intp_ner	noHS				<b>0,0062</b>
FFT-BWTRH-N1	sam	intp_ner	noHS	0,0138	0,0144	0,01	0,0127
FFT-BWTRH-N1	rased	intp_ner	noHS	0,1294	0,1377	0,0982	0,1218
FFT-BWTRH-N1	ergas	intp_ner	noHS				0,1263
FFT-BWTRH-N1	uiqi	intp_ner	noHS	0,9175	0,8789	0,8434	0,8799
FFT-BWTRH-N1	<b>qnr</b>	intp_ner	noHS				<b>0,9040</b>
FFT-BWTRH-N2	<b>rmse</b>	intp_ner	noHS				<b>0,0062</b>
FFT-BWTRH-N2	sam	intp_ner	noHS	0,0137	0,0144	0,0101	0,0128
FFT-BWTRH-N2	rased	intp_ner	noHS	0,1286	0,1382	0,0996	0,1221
FFT-BWTRH-N2	ergas	intp_ner	noHS				0,1265
FFT-BWTRH-N2	uiqi	intp_ner	noHS	0,9202	0,8805	0,8424	0,8810
FFT-BWTRH-N2	<b>qnr</b>	intp_ner	noHS				<b>0,9126</b>

1024x1024'lük tüm yüzey histogram eşitleme işlemi yapılmadan aynı interpolasyon yöntemi için farklı methodların sonuçları nasıl etkilediği Çizelge 4.51'de daha iyi gözlenebilmektedir.

Bu tabloya göre yöntemler geliştikçe ideal değerlere yaklaşıklıkları da iyileşmektedir. PCA, IHS ve Brovey yöntemlerinin arasındaki farklar açıkça gözlenebilmektedir. Tabloda ideal değeri 0 ve 1 olan metrikler için ayrı ayrı en iyi sonucu veren metrik değeri vurgulanmıştır.

İdeal FFT, Gaussian FFT ve Butterworth N1, N2 yöntemleri incelendiğinde ise 0 değerli metrikler için arada çok bir fark olmazken asıl farkın ideal değeri 1 olan metriklerde ortaya koyulabildiği gözlenmektedir. Bu sonuçlara göre İdeal FFT 1024x1024'lük alandan nearest interpolasyon yöntemi için diğer FFT yöntemlerinden daha iyi sonuçlar vermektedir. Butterworth filtresinin kesim frekansının artırılması da sonuçları olumlu etkilemekte ideale yakınlaştırmaktadır.

**Çizelge 4.52** : 1024x1024 uygulamada ERGAS sonuçları karşılaştırması

Method Adı	Uygulama Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
BROVEY	1024	intp_ner	noHS	0,0346
IHS	1024	intp_ner	noHS	0,0344
<b>PCA</b>	<b>1024</b>	<b>intp_ner</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0109</b>
FFT-IDEAL	1024	intp_ner	noHS	0,0066
FFT-GAUSSIAN	1024	intp_ner	noHS	0,0062
FFT-BUTTERWORTH-N1	1024	intp_ner	noHS	0,0062
FFT-BUTTERWORTH-N2	1024	intp_ner	noHS	0,0062

1024x1024'lük tüm yüzeye uygulanan farklı yöntemlerin sonuçları ERGAS metriğine göre incelenecek olursa ideale an yakın değeri PCA yöntemi vermektedir. Bu metrik için tüm yüzeylerde zaman zaman bölgesi interpolasyon yöntemi için FFT yöntemler için aralarındaki ayırt edici fark gözlenemeyecek kadar azalmaktadır. Sonuç olarak bu metrik geniş yüzeylerde 1. Nesil yöntemler diyeceğimize Brovey, PCA ve IHS yöntemlerini değerlendirmek için daha ideal bir metriktir.

**Çizelge 4.53** : QNR metriğine göre FFT yöntemlerin karşılaştırılması

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>BUTTERWORTH N2</b>				
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>imrsz_lc3</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9344</b>
1024	1024	imrsz_lc3	inHS	0,9037
1024	1024	imrsz_lc3	bdHS	0,9020
512	512	imrsz_lc3	noHS	0,9343
4	4	imrsz_bln	inHS	0,9089
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,9161
128	1	intp_ner	noHS	0,0208
128	1	intp_ner	inHS	0,0225
128	1	intp_ner	bdHS	0,0252
<b>BUTTERWORTH N1</b>				
1024	1024	imrsz_lc3	noHS	0,9186
1024	1024	imrsz_lc3	inHS	0,8920
1024	1024	imrsz_lc3	bdHS	0,8913
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>imrsz_ner</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9196</b>
4	4	imrsz_bln	inHS	0,9133
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,9196
128	1	intp_ner	noHS	0,0197
128	1	intp_ner	inHS	0,0210
128	1	intp_ner	bdHS	0,0233
<b>IDEAL FFT</b>				
1024	1024	imrsz_ner	noHS	0,9491
1024	1024	imrsz_ner	inHS	0,9032
1024	1024	imrsz_ner	bdHS	0,8995

<b>4</b>	<b>4</b>	<b>imrsz_ner</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9702</b>
4	4	imrsz_ner	inHS	0,9333
4	4	imrsz_ner	bdHS	0,9427
128	1	intp_ner	noHS	0,0224
128	1	intp_ner	inHS	0,0247
512	1	intp_ner	bdHS	0,0281
GAUSSIAN FFT				
1024	1024	intp_cub	noHS	0,9172
1024	1024	intp_cub	inHS	0,8972
1024	1024	intp_cub	bdHS	0,8967
<b>128</b>	<b>128</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,9171</b>
4	4	intp_lin	inHS	0,9065
4	4	intp_lin	bdHS	0,9134
128	1	intp_ner	noHS	0,0193
128	1	intp_ner	inHS	0,0207
128	1	intp_ner	bdHS	0,0230

İdeal değeri 1 olan metrikler arasında ideale daha yakın sonuçlar veren QNR metriğine göre FFT yöntemlerin sonuçlar incelendiğinde ise Çizelge 4.53'teki tablo elde edilmektedir.

Her bir yöntem için ideal sonuçları veren uygulama alanı, adım boyutları, interpolasyon yöntemi ve histogram eşitleme tipi tabloda vurgulanarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4.54 : ERGAS metriğine göre FFT yöntemlerin karşılaştırması**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
BUTTERWORTH N1				
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0053</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0068
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0072
<b>128</b>	<b>128</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0053</b>
8	8	intp_lin	inHS	0,0064
8	8	intp_lin	bdHS	0,0066
<b>128</b>	<b>64</b>	<b>intp_spl</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0053</b>
8	4	intp_lin	inHS	0,0064
8	4	intp_lin	bdHS	0,0066
BUTTERWORTH N2				
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0054</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0071
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0076
<b>128</b>	<b>128</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0054</b>
8	8	intp_lin	inHS	0,0066
8	8	intp_lin	bdHS	0,0069
<b>128</b>	<b>64</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0054</b>
8	4	intp_lin	inHS	0,0066
8	4	intp_lin	bdHS	0,0069
GAUSSIAN FFT				

<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0052</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0066
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0070
<b>64</b>	<b>64</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0052</b>
8	8	intp_lin	inHS	0,0062
8	8	intp_lin	bdHS	0,0064
<b>64</b>	<b>32</b>	<b>intp_cub</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0052</b>
8	4	intp_lin	inHS	0,0062
8	4	intp_lin	bdHS	0,0064
IDEAL FFT				
<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0057</b>
1024	1024	intp_lin	inHS	0,0078
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,0085
<b>256</b>	<b>256</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0057</b>
4	4	intp_lin	inHS	0,0069
4	4	intp_lin	bdHS	0,0071
<b>256</b>	<b>128</b>	<b>intp_lin</b>	<b>noHS</b>	<b>0,0057</b>
4	2	intp_lin	inHS	0,0068
4	2	intp_lin	bdHS	0,0070

İdeal değeri 0 olan metrikler arasında ideale daha yakın sonuçlar veren ERGAS metriğine göre FFT yöntemlerin sonuçlar incelendiğinde ise Çizelge 4.54'teki tablo elde edilmektedir.

Her bir yöntem için ideal sonuçları veren uygulama alanı, adım boyutları, interpolasyon yöntemi ve histogram eşitleme tipi tabloda vurgulanarak gösterilmiştir. Bu tabloya göre ERGAS metriği için FFT yöntemlerinin sonuçları çok az farkla değişmektedir. Farklar genellikle uygulama alanı ve interpolasyon yöntemlerinden ortaya çıkmaktadır.

**Çizelge 4.55 :** Tüm metriklere göre metotların en iyi sonuçları

Metrik Tipi	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
<b>BUTTERWORTH N1</b>					
RMSE	1024	1024	intp_spl	noHS	0,0109
SAM	1024	1024	intp_spl	noHS	0,1049
RASE	1024	1024	intp_spl	noHS	0,1082
ERGAS	1024	1024	intp_spl	noHS	0,0053
UIQI	1024	1024	intp_spl	noHS	0,9094
QNR	4	4	imrsz_ner	noHS	0,9196
<b>BUTTERWORTH N2</b>					
RMSE	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0111
SAM	1024	1024	intp_spl	noHS	0,1061
RASE	1024	1024	intp_spl	noHS	0,1094
ERGAS	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0054
UIQI	1024	1024	intp_spl	noHS	0,9090
QNR	1024	1024	imrsz_lc3	noHS	0,9344

İDEAL FFT					
RMSE	1024	1024	intp_lin	noHS	0,0118
SAM	1024	1024	intp_lin	noHS	0,1129
RASE	1024	1024	intp_lin	noHS	0,1165
ERGAS	1024	1024	intp_lin	noHS	0,0057
UIQI	1024	1024	intp_cub	noHS	0,8980
QNR	4	4	imrsz_ner	noHS	0,9702
GAUSSIAN FFT					
RMSE	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0107
SAM	1024	1024	intp_cub	noHS	0,1029
RASE	1024	1024	intp_cub	noHS	0,1060
ERGAS	1024	1024	intp_cub	noHS	0,0052
UIQI	1024	1024	intp_cub	noHS	0,9136
QNR	1024	1024	intp_cub	noHS	0,9172
PCA					
RMSE	4	2	intp_lin	inHS	0,0123
SAM	4	2	intp_lin	inHS	0,1166
RASE	4	2	intp_lin	inHS	0,1212
ERGAS	4	2	intp_lin	inHS	0,0059
UIQI	4	2	intp_lin	inHS	0,8922
QNR	4	1	imrsz_lc2	noHS	0,9786
IHS					
RMSE	4	2	imrsz_bln	inHS	0,0160
SAM	4	2	imrsz_bln	inHS	0,1519
RASE	4	2	imrsz_bln	inHS	0,1573
ERGAS	4	2	imrsz_bln	inHS	0,0077
UIQI	4	2	imrsz_bln	inHS	0,8094
QNR	4	4	imrsz_ner	inHS	0,9152
BROVEY					
RMSE	4	4	intp_lin	inHS	0,0173
SAM	4	4	intp_lin	inHS	0,1643
RASE	4	4	intp_lin	inHS	0,1699
ERGAS	4	4	intp_lin	bdHS	0,0108
UIQI	4	2	intp_lin	inHS	0,7783
QNR	4	4	intp_cub	inHS	0,9093

Tüm metrik sonuçları bir arada incelediğinde PCA ve sonrası daha gelişmiş yöntemlerin seçilmesinin uygulama alanlarına olumlu etkisi oldukça göze çarpmaktadır. PCA yönteminde 4x4'lük bloklarda en iyi sonuçlar alınırken Fourier bölgesi filtrelerinin uygulanması ile fusion işlemi tüm yüze uygulanabilir ve çok daha iyi sonuçlar elde edilebilir olmaktadır. Böylelikle gelişmiş metotların kullanılması işlem karmaşıklığını azaltıcı rol oynamaktadır denilebilir.



İnterpolasyon yöntemlerinden ise daha çok zaman bölgesi interpolasyon yöntemleri önce çıkmaktadır. Önce çıkan bir diğer sonuç ise filtreli yöntemlerin uygulanması ile histogram eşitleme işlemine gereksinimin ortadan kalkmasıdır. PCA, Brovey ve IHS yöntemlerinde önce çıkan intensitywise histogram eşitleme işlemi filtreleme yöntemleri ile gereksinim olmaktan çıkmaktadır.

Böylece filtreleme yöntemlerinin seçilmesi ile işlem karmaşıklığının azaltılması ve uygulama alanının genişletilebilmesi sağlanabilmektedir.

**Çizelge 4.56 :** Tüm metriklere göre metotların karşılaştırmalı sonuçları

Method	RMSE	SAM	RASE	ERGAS	UIQI	QNR
BROVEY	0,0173	0,1643	0,1699	0,0108	0,7783	0,9093
IHS	0,0160	0,1519	0,1573	0,0077	0,8094	0,9152
PCA	0,0123	0,1166	0,1212	0,0059	0,8922	<b>0,9785</b>
FFT-IDEAL	0,0118	0,1129	0,1165	0,0057	0,8980	0,9702
FFT-GAUSS	<b>0,0107</b>	<b>0,1029</b>	<b>0,1060</b>	<b>0,0052</b>	<b>0,9136</b>	0,9172
FFT-BWTH-N1	0,0109	0,1049	0,1082	0,0053	0,9094	0,9196
FFT-BWTH-N2	0,0111	0,1061	0,1094	0,0054	0,9090	0,9344

Bu aşamaya kadar ayrı ayrı farklı kalite metrik değerleri için incelenmiş olan Brovey, IHS, PCA, İdeal FFT, Gaussian FFT, Butterworth N1 ve Butterworth N2 yöntemlerinin en iyi sonuçları Çizelge 4.56'da bir arada verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Gaussian FFT yönteminin RMSE, SAM, ERGAS, RASE ve UIQI metrikleri için en ideal sonuçları verdiği; QNR metriği için ise öne çıkan yöntemin PCA olduğu görülmektedir.

QNR metriği sonuçları UIQI metriği sonuçlarına göre ideale daha yakındır. ERGAS metriği de RMSE, RASE, SAM metriklerine göre ideale daha yakın değerler vermektedir. Kısacası ideal değeri 0 olan metrik içerisinde ERGAS hassasiyet olarak öne çıkarken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında da QNR metriği hassasiyet olarak önce çıkmaktadır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son on yıl içinde optik yer gözlem uydularından elde edilen ürünlerinin kullanımı giderek artmakta ve çok çeşitli alanlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bunlardan biri de uydu görüntülerinden faydalanılarak oluşturulan çeşitli yazılımlardır. Araç takip sistemleri, navigasyon sistemleri, kişi takip sistemleri, arama kurtarma ve afet hasar tespit yazılımları uydu görüntüsü bazlı analiz yazılımlarıdır.

Optik görüntüler dünyamızı, çevremizi tanımaya, planlamamıza, afetler hakkında bilgi almamıza, afet öncesi analizlere, rekolte tahminine, orman ve tarım arazilerinin sınıflandırılmasında, şehir bölge planlamalarında, madencilikte, GSM baz istasyonu planlamalarında, su seviyesi ve kirlilik analizlerinde, hava tahminlerinde, toprak sınıflandırmasında, askeri uygulamalarda, tanıma ve teşhis etmede ve katma değerli ürünlerle hayatımıza girmiş birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu kapsamlı uygulama alanı bulunan görüntü işleme işlemlerinde doğru uygulamada doğru tekniği kullanarak amaca hizmet eden en iyi sonuçları elde edebilmek adına farklı tekniklerin karşılaştırılmasına dayanan literatür çalışmaları önem kazanmaktadır.

Daha önce yapılmış olan çalışmalardan farklı olarak görüntü birleştirme tekniğinin ara adımlarında yer alan bazı karar aşamalarında tek bir seçenek üzerinden değil de farklı seçenekler üzerinden ilerlenmiş olması durumunda çıktılarının nasıl etkileneceğine odaklanarak karşılaştırma yapılan bu çalışmada anlatılan görüntü birleştirme yöntemleri altı farklı görüntü değerlendirme metriğine göre değerlendirilmiştir.

RMSE, SAM, RASE, ERGAS, UIQI ve QNR denklemlerine göre yapılan hesaplamalardan SAM, RMSE, RASE, ERGAS yöntemleri için en düşük sonucu veren yöntem en iyi olarak ifade edilirken UIQI ve QNR için en yüksek değeri veren sonuç en iyi olarak ifade edilmektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde başarıml katsayısının çözünürlük seviyesi ile doğru orantılı olarak gelişmediği gözlemlenmektedir. Brovey yönteminden dalgacık dönüşümü ve çoklu çözünürlük yöntemlerine doğru evrimleşme göstermiştir. Uydu teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak mevcut yöntemlerinde yetersiz kalması beklenmekte hbyrid modeller üzerinden ek özelliklerin geliştirilmesine yönelik yeni yöntem arayışları halen devam etmektedir.

Çalışma kapsamında karşılaşılan en önemli sorun metotların ara adımlarında karar verilmesi gereken seçeneklerin çok fazla olması nedeni ile ortaya çıkan olasılık sayısının fazla olmasıdır.

Çalışma kapsamında 1024x1024'lük renli görüntünün her bir bandı için dokuz farklı interpolasyon yöntemi; üç farklı histogram gerdirme seçeneği özelinde 4x4'lük pencerelerden başlayarak 1024x1024'lük tam görüntü boyutuna kadar blok blok ve 2'nin katları şeklinde 2 adımdan başlayarak 512 adıma kadar kaydırmalı olarak uygulanmış; Fourier bölgesi filtreleri için farklı kesim frekanslarının sonuçlara etkisi de incelenmeye çalışılmıştır. Hesaplamalarda MATLAB uygulama aracı kullanılmıştır.

İşlem karmaşıklığı olarak oldukça yüksek olduğu için sonuçların hesaplanmasında çok çekirdekli ve işlemci gücü yüksek sunuculara ihtiyaç duyulmuştur. Örneğin 16 GB RAM, 2.29 Ghz, 8 Çekirdek Intel Core İşlemcili Windows sanal sunucularda FFT İdeal filtreleri görüntü birleştirme sonuçları bir interpolasyon yöntemi için gerçekleşmesi yaklaşık 3,5 gün sürmektedir. Hesaplamalarda bir interpolasyon yönteminin 3 farklı histogram eşitleme yöntemi ile MS görüntünün her bir bandı için pencerelerin  $2^2$ 'den  $2^{10}$ 'a ve kaydırmaların  $2^2$ 'den  $2^9$ 'a kadar tüm olasılıkların hesaplanması için geçen süre baz alınmıştır. Bu süre HIS, PCA ve Brovey gibi daha az kompleks yöntemler için 1,5 güne kadar düşebilmekte, wavelet gibi karışık yöntemler için 5 güne kadar çıkabilmektedir. Tam anlamı ile karşılaştırma sonuçları elde edebilmek için bir methodun dokuz farklı interpolasyon yöntemi için karşılaştırılması hedeflenirse ideal şartlarda minimum 1 aylık bir hesaplama süresine ihtiyaç duyulacaktır. Bu hesaplama süresi Butterworth vb. Daha kompleks filtreler için 1,5 aya kadar çıkmaktadır. Butterowth filtrelerin kesim frekansının değişmesi hesaplamalara yaklaşık bir on beş gün kadar eklemektedir. Wavelet yöntemlerinde ise benzer hesaplamaların süresi 3-4 aya kadar çıkmaktadır.

Bu veriler ışığında bu alanda yapılacak olan daha detaylı analizlerin, gelişmiş donanımlı bilgisayar kümeleri ve sunucular üzerinde, paralel programla ve büyük veri analizi gibi modern metodlar ile çok daha hızlı gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

Bu tez kapsamında incelenen teorik sonuçlardan yola çıkılarak modellenecek olan yeni yöntemlerin hayatımızın bir çok alanında etkin rol oynayabilecek uygulamalara öncü olabilmesi temennisi ile...





## KAYNAKLAR

- Akoğuz, A.** (2013). Uzaktan Algılamada Görüntü Birleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Collet, C., Chanussot, J., ve Chehdi, K.** (2009). *Multivariate Image Processing*. Hoboken, New Jersey, Wiley.
- Cooley, J.W., Tukey, J.W.** (1965). An Algorithm for the Machine Computation of Complex Fourier Series, *Mathematics of Computation*, Vol. 19, pp. 297-301.
- Gonzales, M., Saleta, J. L., Catalan, R.G. ve Garcia, R.** (2004). “ Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, (sf. 1291–1299).
- Kuo, F. F., Kaiser, J. F., Eds., John Wiley and Sons.** (1966). *System Analysis by Digital Computer*, NY.
- Joint Quality Measure for Evaluation of Pansharpening Accuracy, Gintautas Palubinskas.** (2015). *Remote Sens.*, 7, 9292-9310; doi:10.3390/rs70709292
- Liu, J. G.** (2000). Smoothing Filter Based Intensity Modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, (Sf. 3461–3472).
- Pohl, C.** (1999). Tools And Methods For Fusion Of Images Of Different Spatial Resolution”. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 7-4-3 W6, Valladolid, Spain, 3-4 June.
- Ranchin, T., Wald, L., Mangolini, M.** (1996a). “The ARSIS method: A General Solution For Improving Spatial Resolution Of Images By The Means Of Sensor Fusion”. *Fusion of Earth Data, Proceedings EARSeL Conference, Cannes, France, 6- 8 February 1996*(Paris: European Space Agency
- Turk, M. ve Pentland, A.** (1991), “Eigenfaces for Recognition”, *J. Cognitive Neuroscience*, vol. 3, (Sf. 71-86).
- Wald, L., Ranchin, Th., Mangolini, M.** (1997). Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(6), pp. 691-699.
- Wald, L.** (2002). *Data fusion - Definitions and architectures - Fusion of images of different spatial resolutions*. École de Mines de Paris.

- Wald, L.** (1999b). "Definitions And Terms Of Reference In Data Fusion". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 7-4-3 W6, Valladolid, Spain, 3-4 June.).
- Wald, L.** (1999a). "Some Terms Of Reference In Data Fusion". IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 37, 3, pp.1190- 1193.
- Xu, H.Q.** (2004). Assessment of The SFIM Algorithm. Chinese Geographical Science, 14(1): pp. 48-56.
- Vijayaraj V., O'Hara, C. G. and Younan, N. H.** (2004). "Quality Analysis Of Pansharpened Images". 0-7803-8742-2/04/(C) 2004 IEEE,pp.85-88
- Zhang, L., Liao, M., Wang, Y., Lu, L. ve Wang, Y.** (2004). Robust approach to the MAD change detection method, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV, vol. 5574, (Sf. 184–193).
- Zhang, L., Liao, M., Wang, Y., Lu, L. ve Wang, Y.** (2004). Robust approach to the MAD change detection method, Remote Sensing for Environmental Monitoring,
- Zhou, Wang.** (2002). "A Universal Image Quality Index," IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, vol. 9, pp. 81-84,



## **EKLER**

### **EK A : Birleřtirilen Görüntüler**





**Şekil A.1** : Düşük mekansal çözünürlüklü 1024x1024 MS görüntü



**Şekil A.2** : Yüksek mekansal çözünürlüklü 2048x2048 PAN görüntü



**Şekil A.3** : Örnekleilmiş 512x512 MS ve 1024x1024 PAN görüntü

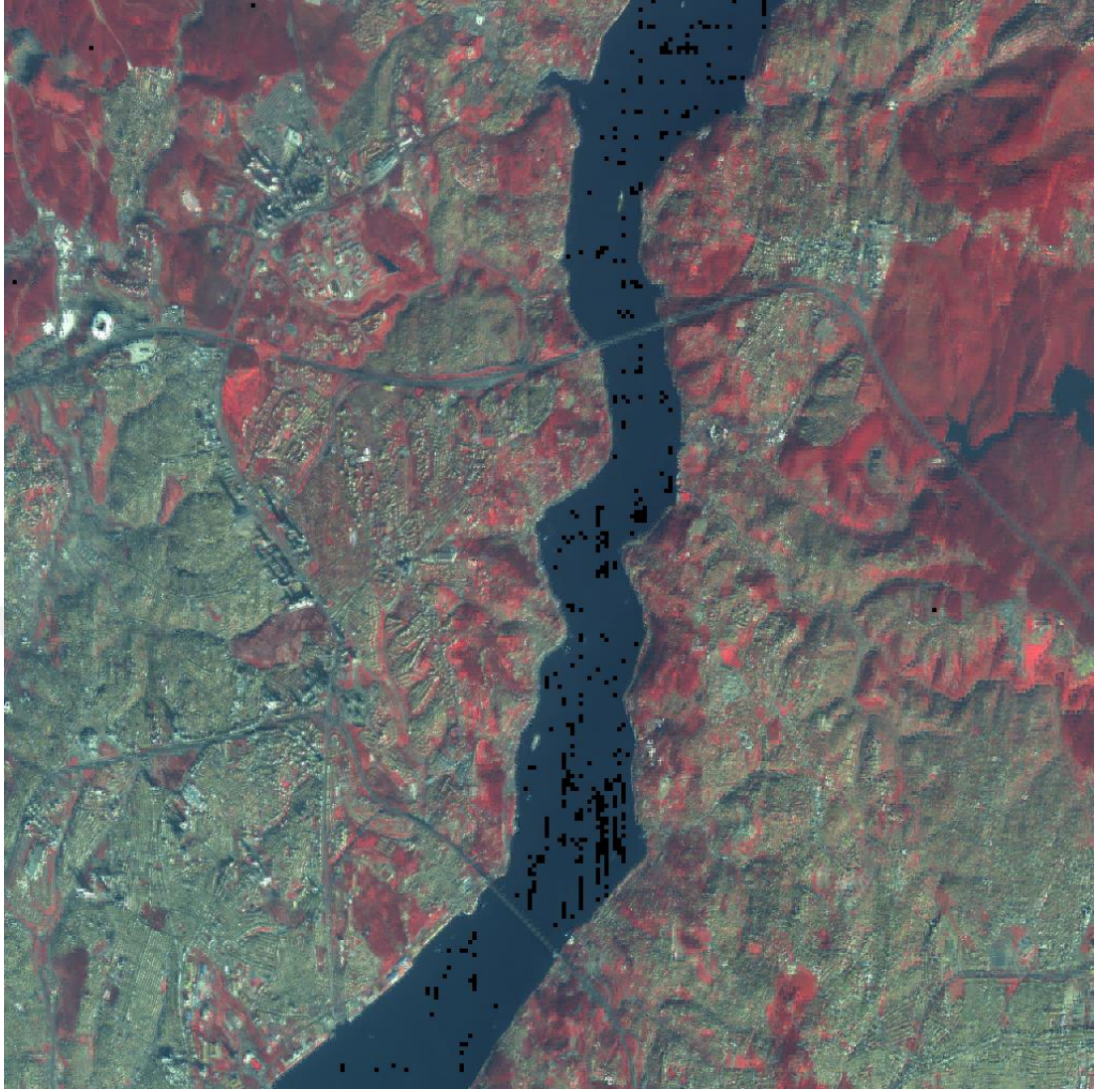


**Şekil A.4** : Zamanda ve frekansta interpolate edilmiş 1024x1024 MS görüntü





**Şekil A.5 :** Brovey 4x4 bloklara , inHS, inTP\_Lin uygulanması sonucu

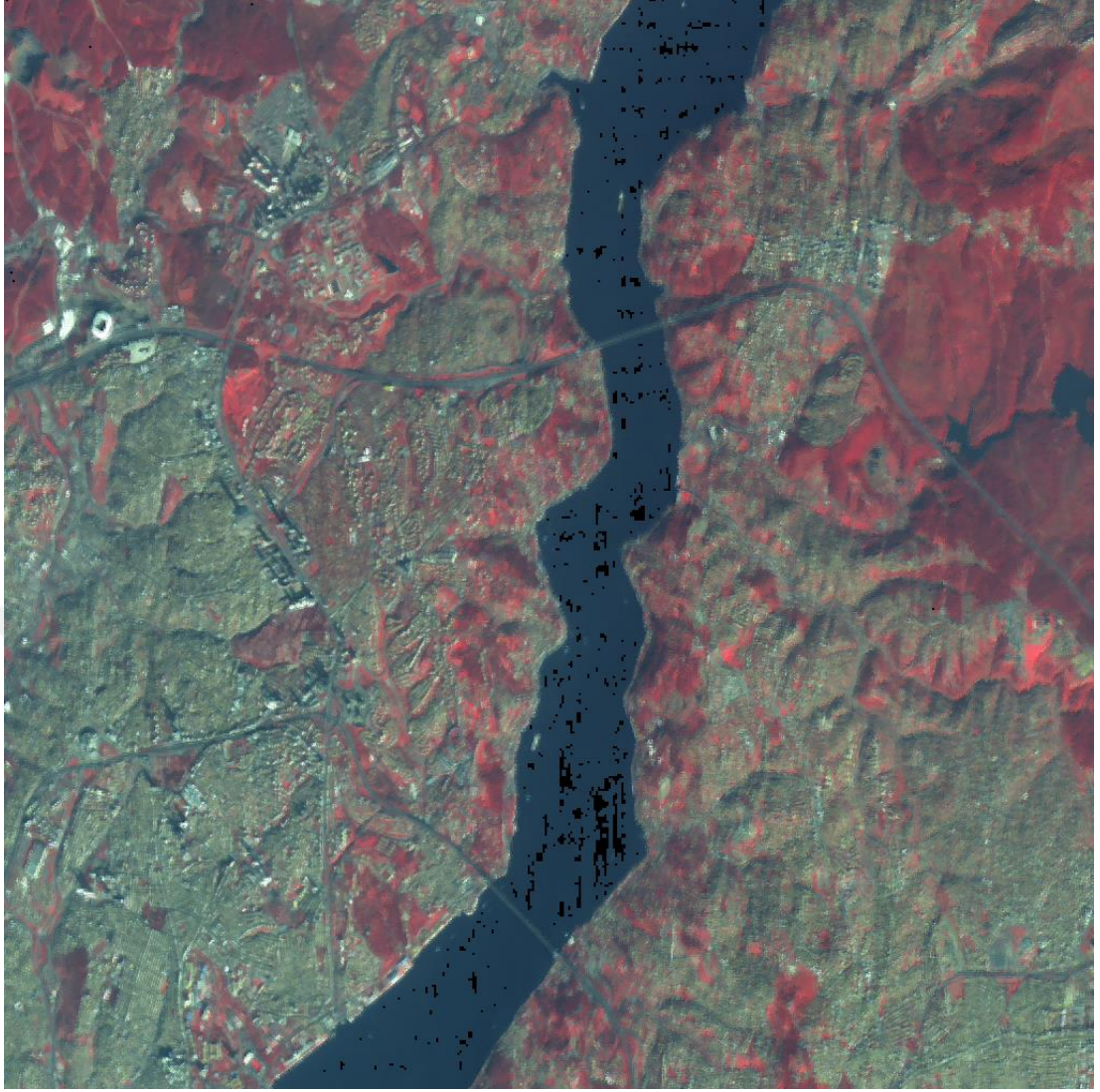


Şekil A.6 : Brovey 4x4 blokların 2x2'lik adımlarla kaydırılması sonucu



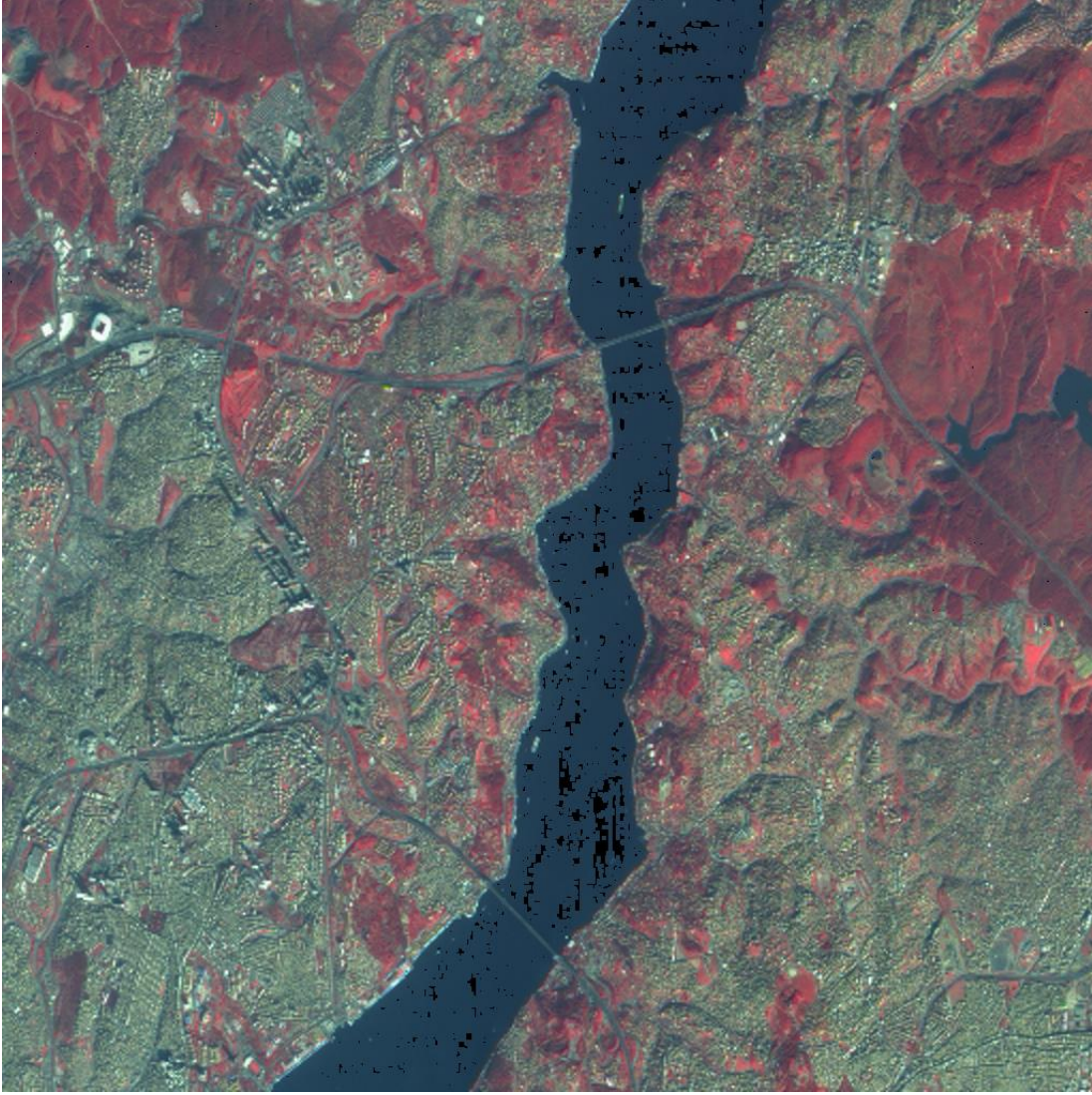


Şekil A.7 : IHS yönteminin 4x4'lük bloklara uygulanması sonucu



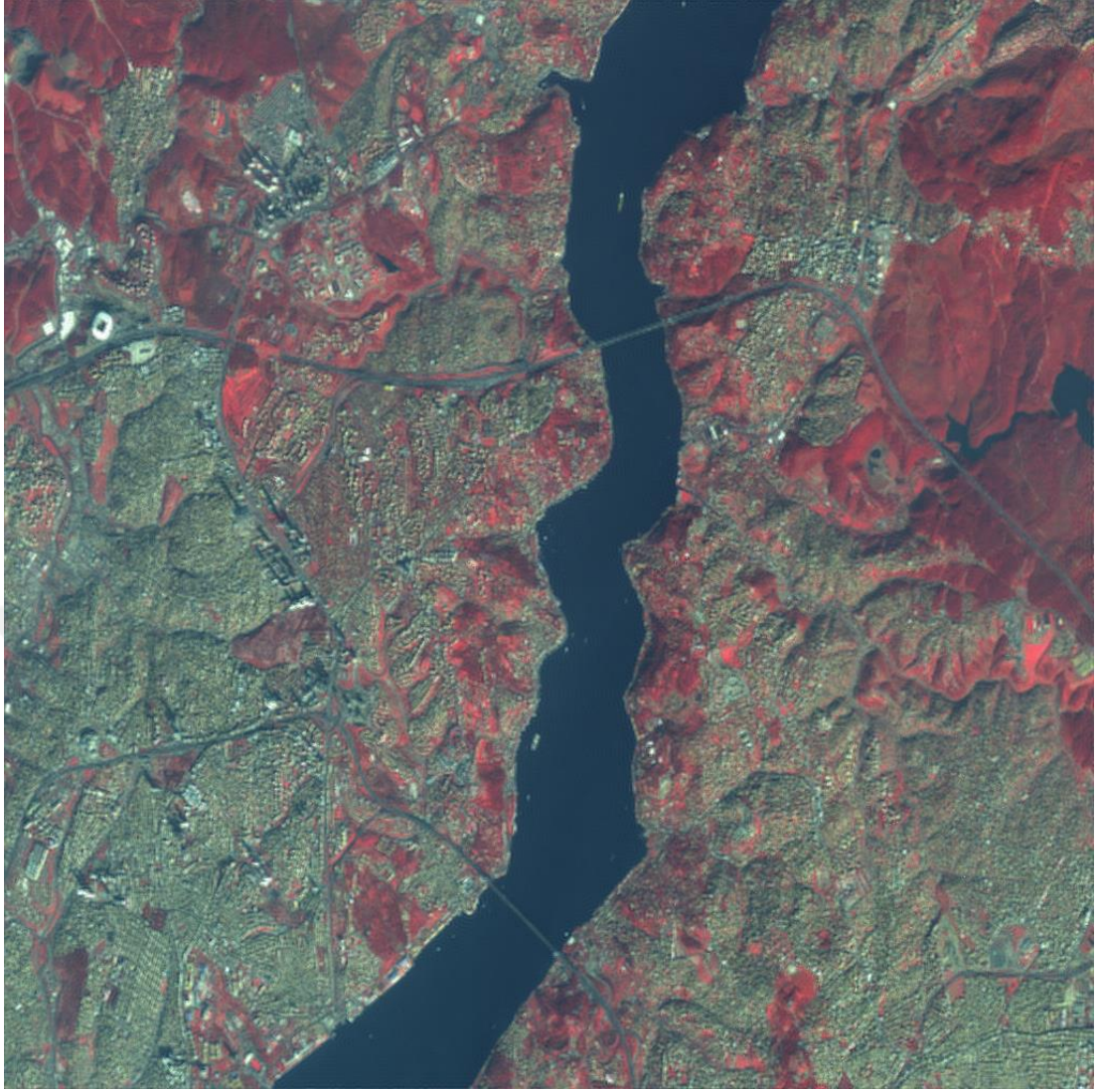
**Şekil A.8** : IHS yönteminin 4x4'lük alanlara 2 adım kaydırmalı uygulanması sonucu



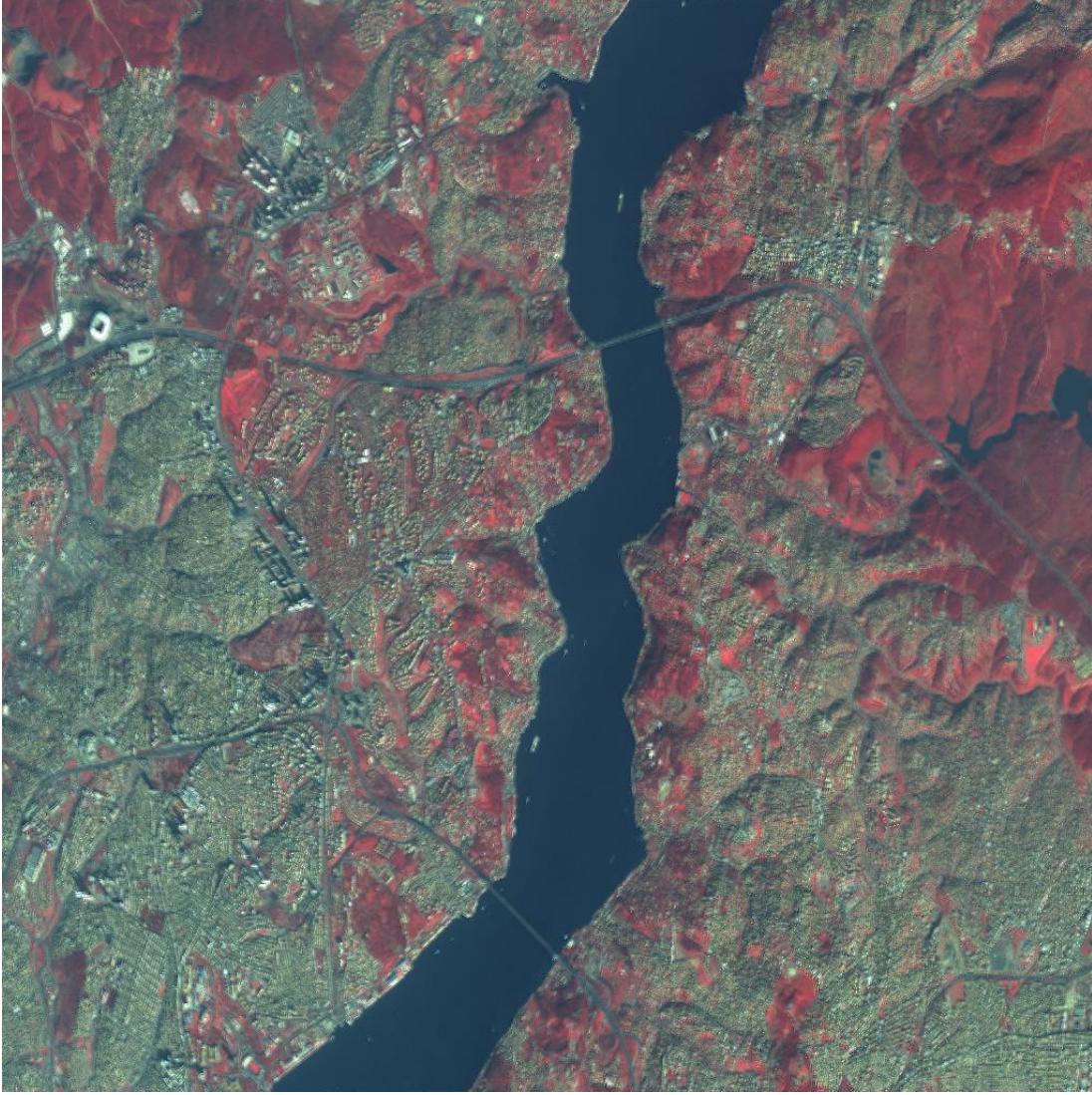


Şekil A.9 : PCA yönteminin 4x4'lük alanlara 1 adım kaydırmalı uygulanması sonucu



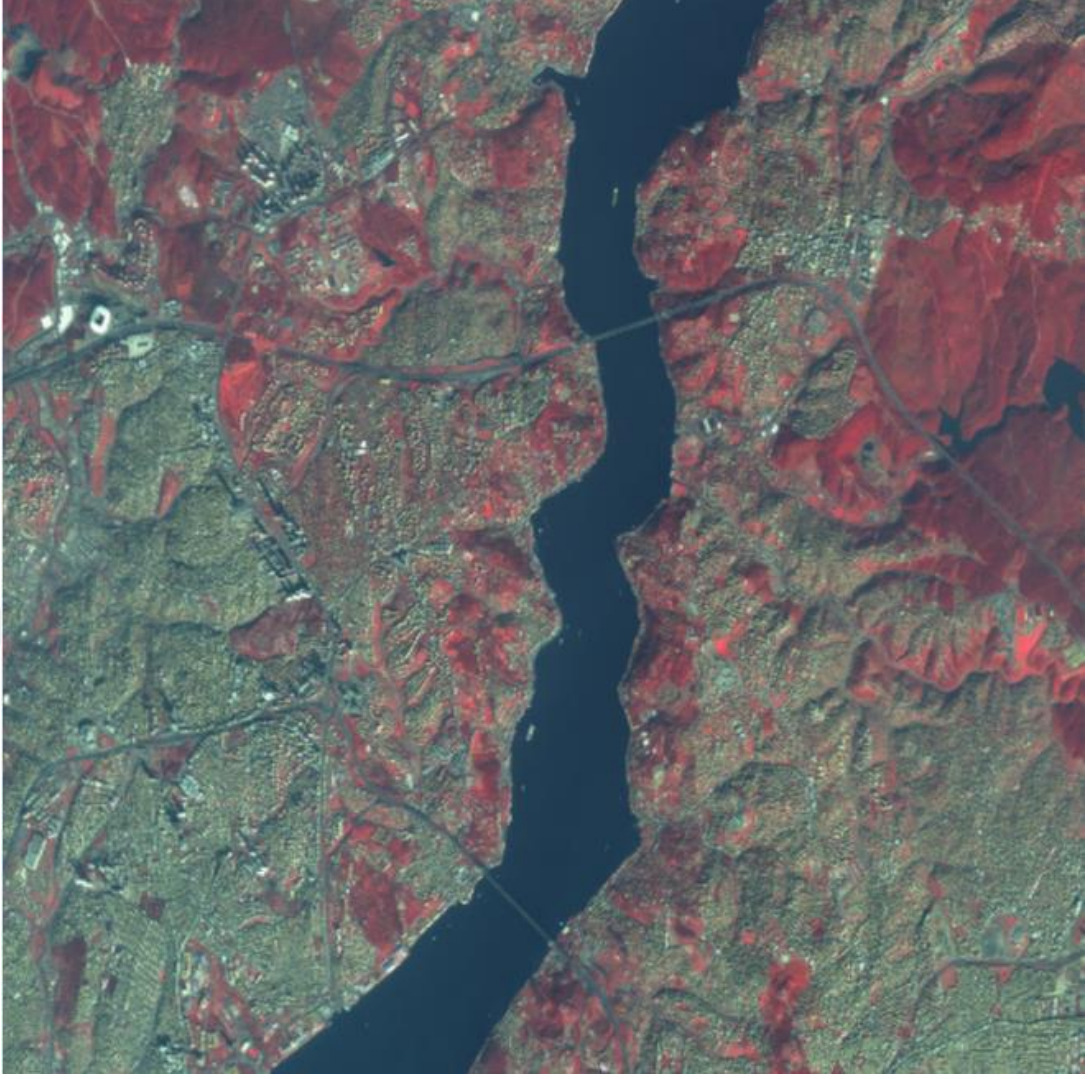


Şekil A.10 : QNR metriklerine göre en iyi ideal FFT sonucu

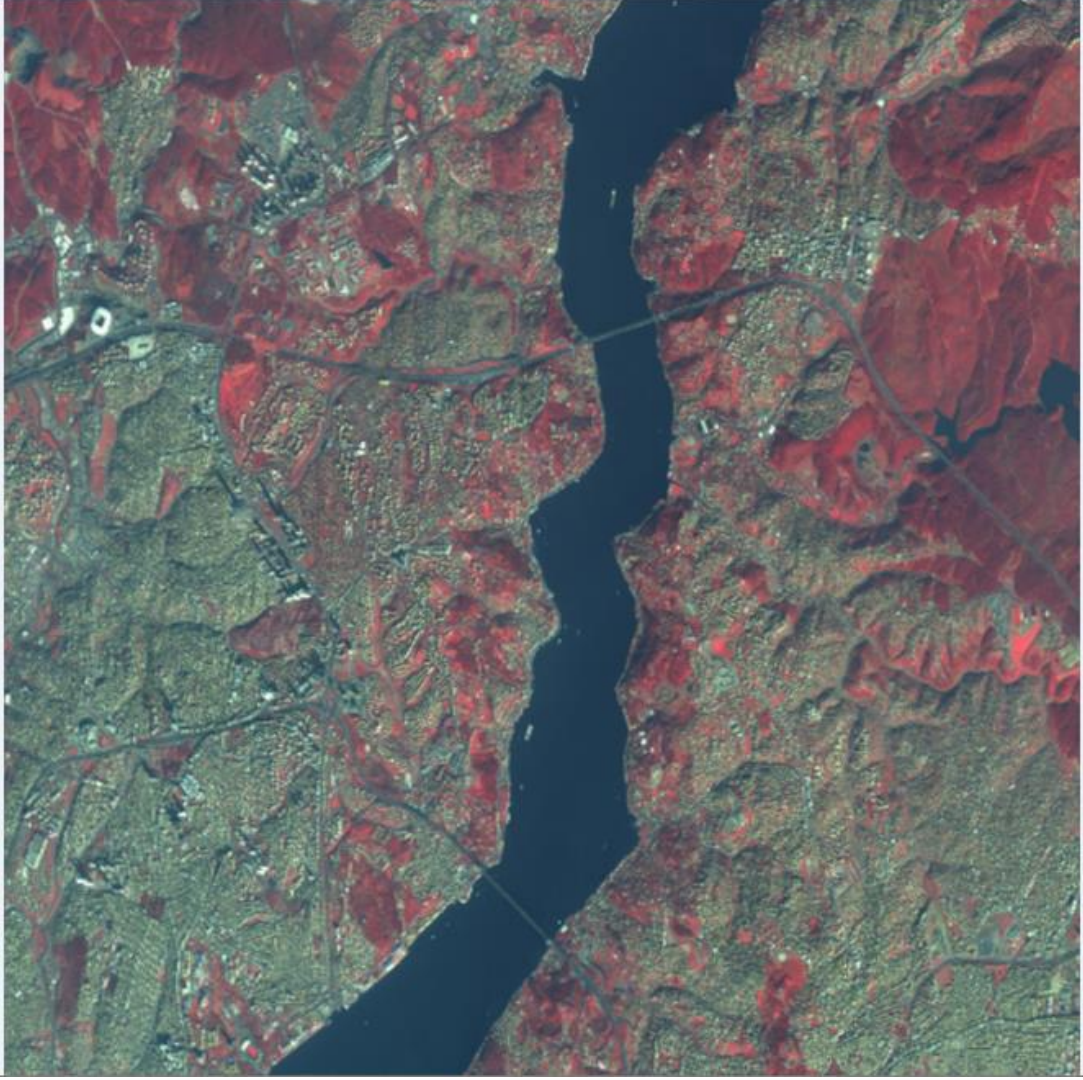


**Şekil A.11** : Tüm metriklere göre en iyi Gaussian FFT sonucu





**Şekil A.12 :** Tüm metriklere göre en iyi Butterworth N1 FFT sonucu



**Şekil A.13** : Tüm metriklere göre en iyi Butterworth N2 FFT





(a)



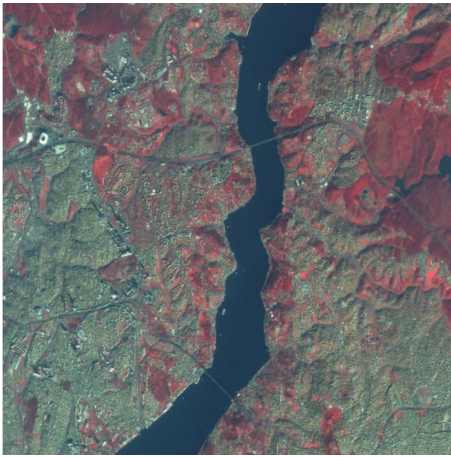
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil A.14** : Orjinal görüntüler ile en iyi metrik sonuçlarının karşılaştırması  
(a)Orjinal MS görüntü. (b)Orjinal PAN görüntü. (c) Gaussian görüntü. (d) İdeal FFT görüntü. (e) Butterworth N1 görüntü. (f) Butterworth N2 görüntü.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Kübra Nur Bulut  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1986, Çankırı  
**E-posta** : knurbulut@gmail.com



### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Doğu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği (Burslu)

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- TÜBİTAK BİLGEM Bilgi Sistemleri ve Tesis G. Birimi, Proje Yöneticisi (2016)
- Medyasoft Danışmanlık A.Ş., Teknik Proje Yöneticisi (2014-2016)
- Pusula Kurumsal İş Çözümleri, Yazılım Uzmanı (2011-2014)