

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE
YEREL DALGACIK YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selma ALİOĞLU

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE
YEREL DALGACIK YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Selma ALİOĞLU
(705081011)**

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Hamdi KAYRAN

ARALIK 2016

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705081011 numaralı yüksek lisans öğrencisi Selma ALİOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE YEREL DALGACIK YAKLAŞIMI” 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

Değerli aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Hamdi Kayran'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, zaman kısıtı olmaksızın bilgi ve tecrübelerini paylaşan, bana her zaman destek olan değerli hocam UHUZAM Sistem Yöneticisi Sayın Alper Akoğuz' a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Kübra Nur Bulut başta olmak üzere Sadık Bozkurt, Arzu Özyapıcı, Hümeysra Özyapıcı ve Bahar Yılmaz'a teşekkür ederim.

Destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan sevgili annem Serpil Alioğlu, kardeşim Mustafa Alioğlu, varlığını her zaman yanımda hissettiğim babam Yusuf Ziya Alioğlu'na ve eğitim hayatım boyunca bana katkısı olan herkese sonsuz teşekkürler ederim.

Aralık 2016

Selma Alioğlu

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	xv
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	6
2. TEST ALANI VE TEKNİK ÖZELLİKLER	7
2.1 Test Alanı	7
2.2 Teknik Özellikler.....	8
3. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	11
3.1 Görüntü Birleştirme Modeli	11
3.2 Görüntü Birleştirme Yöntemleri	12
3.2.1 Modülasyon bazlı yöntemler.....	12
3.2.1.1 Brovey dönüşümü	13
3.2.2 Bileşen değişim yöntemleri.....	15
3.2.2.1 Parlaklık-Renk özü-Doygunluk dönüşümü (IHS)	15
3.2.2.2 Temel bileşen analizi dönüşümü (PCA)	17
3.2.3 Çoklu çözünürlük yöntemleri.....	19
3.2.3.1 Dalgacık dönüşümü (Wavelet Transform)	19
3.3 Görüntü Birleştirme Yöntemlerini Uygulama Tipleri.....	25
4. KALİTE DEĞERLENDİRME METRİKLERİ	27
4.1 Karesel Ortalama Hata (RMSE).....	27
4.2 Spektral Açık Eşleştirici (SAM).....	27
4.3 Göreceli Ortalama Spektral Hata (RASE).....	28
4.4 Göreceli Boyutsuz Global Sentez Hatası (ERGAS).....	28
4.5 Uluslararası Görüntü Kalite Endeksi (UIQI)	29
4.6 Referansız Kalite Metriği (QNR).....	29
5. SONUÇLAR	31
5.1 Elde Edilen Sonuçlar	31
6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR	49

EKLER	51
ÖZGEÇMİŞ	59

KISALTMALAR

PAN	: Pankromatik
MS	: Multispektrel
F	: Fusion (Birleştirilmiş)
PSP	: Pansharpened (Pan keskinleştirilmiş)
BT	: Brovey Transform (Brovey Dönüşümü)
IHS	: Intensity-Hue-Saturation (Parlaklık – Renk özü - Doygunluk)
PCA	: Principle Component Analysis (Temel Bileşen Analizi)
WT	: Wavelet Transform (Dalgacık Dönüşümü)
CC	: Correlation Coefficient
SNR	: Signal To Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
LSR	: Low Spatial Resolution (Düşük Geometrik Çözünürlük)
HSR	: High Spatial Resolution (Yüksel Geometrik Çözünürlük)
LPF	: Low Pass Filter (Alçak Geçiren Filtre)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Amerikan Uzak Ajansı)
SPOT	: Satellite/Système Pour l’Observation de la Terre (Yeryüzü Gözlemi Yapan Uydu/Sistem)
SAM	: Spectral Angle Mapper (Spektral Açık Eşleştiricisi)
ERGAS	: Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (Göreceli Boyutsuz Global Sentez Hatası)
RMSE	: Root Mean Square Error (Ortalama Kareli Hata)
UIQI	: Universal Image Quality Index (Evrensel Görüntü Kalite İndeksi)
RASE	: Relative Average Spectral Error (Bağıl Ortalama Spektral Hata)
QNR	: The Quality w/ No Reference (Referanssız Kalite Metriği)
HRG	: High Resolution Geometric (Yüksek Çözünürlüklü Geometrik)
SWIR	: Shortwave Infrared (Kısa Dalga Kırmızı Ötesi)
NIR	: Near Infrared (Yakın Kırmızı Ötesi)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Uydu Görüntülerinin Kullanım Alanları.....	5
Çizelge 2.1 : Spot 5 Uydu Özellikleri.....	10
Çizelge 5.1 : RMSE metriğine göre Brovey sonuçları.....	31
Çizelge 5.2 : SAM metriğine göre Brovey sonuçları.....	32
Çizelge 5.3 : RASE metriğine göre Brovey sonuçları.....	32
Çizelge 5.4 : ERGAS metriğine göre Brovey sonuçları.....	35
Çizelge 5.5 : UIQI metriğine göre Brovey sonuçları.....	35
Çizelge 5.6 : QNR metriğine göre Brovey sonuçları.....	36
Çizelge 5.7 : Tüm Brovey sonuçları.....	36
Çizelge 5.8 : RMSE metriğine göre IHS sonuçları.....	36
Çizelge 5.9 : SAM metriğine göre IHS sonuçları.....	36
Çizelge 5.10 : RASE metriğine göre IHS sonuçları.....	37
Çizelge 5.11 : ERGAS metriğine göre IHS sonuçları.....	37
Çizelge 5.12 : UIQI metriğine göre IHS sonuçları.....	37
Çizelge 5.13 : QNR metriğine göre IHS sonuçları.....	37
Çizelge 5.14 : Tüm IHS sonuçları.....	38
Çizelge 5.15 : RMSE metriğine göre PCA sonuçları.....	38
Çizelge 5.16 : SAM metriğine göre PCA sonuçları.....	38
Çizelge 5.17 : RASE metriğine göre PCA sonuçları.....	39
Çizelge 5.18 : ERGAS metriğine göre PCA sonuçları.....	39
Çizelge 5.19 : UIQI metriğine göre PCA sonuçları.....	39
Çizelge 5.20 : QNR metriğine göre PCA sonuçları.....	39
Çizelge 5.21 : Tüm PCA sonuçları.....	50
Çizelge 5.22 : RMSE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim I sonuçları.....	38
Çizelge 5.23 : SAM metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim I sonuçları.....	38
Çizelge 5.24 : RASE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim I sonuçları.....	39
Çizelge 5.25 : ERGAS metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim I sonuçları.....	39
Çizelge 5.26 : UIQI metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim I sonuçları.....	39
Çizelge 5.27 : QNR metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim I sonuçları.....	39
Çizelge 5.28 : Dalgacık Dönüşümü Değişim I sonuçları.....	50
Çizelge 5.29 : RMSE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim II sonuçları.....	38
Çizelge 5.30 : SAM metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim II sonuçları.....	38
Çizelge 5.31 : RASE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim II sonuçları.....	39
Çizelge 5.32 : ERGAS metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim II sonuçları.....	39
Çizelge 5.33 : UIQI metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim II sonuçları.....	39
Çizelge 5.34 : QNR metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Değişim II sonuçları.....	39
Çizelge 5.35 : Dalgacık Dönüşümü Değişim II sonuçları.....	50
Çizelge 5.36 : RMSE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama I sonuçları.....	38
Çizelge 5.37 : SAM metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama I sonuçları.....	38
Çizelge 5.38 : RASE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama I sonuçları.....	39
Çizelge 5.39 : ERGAS metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama I sonuçları.....	39
Çizelge 5.40 : UIQI metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama I sonuçları.....	39

Çizelge 5.41 : QNR metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama I sonuçları.....	39
Çizelge 5.42 : Dalgacık Dönüşümü Toplama I sonuçları.....	50
Çizelge 5.43 : RMSE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama II sonuçları....	38
Çizelge 5.44 : SAM metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama II sonuçları.....	38
Çizelge 5.45 : RASE metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama II sonuçları....	39
Çizelge 5.46 : ERGAS metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama II sonuçları..	39
Çizelge 5.47 : UIQI metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama II sonuçları	39
Çizelge 5.48 : QNR metriğine göre Dalgacık Dönüşümü Toplama II sonuçları	39
Çizelge 5.49 : Dalgacık Dönüşümü Toplama II sonuçları	40

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Spot 5 ve Quickbird uydularının Geometrik Çözünürlük Karşılaştırması .	2
Şekil 1.2 : Quickbird Uydusuna ait farklı spektrel çözünürlüklü görüntüleri.	12
Şekil 1.3 : 5 adet geniş band içeren Multispektrel Görüntü bandları.	3
Şekil 1.4 : Yüzlerce dar band içeren Hiperspektrel Görüntü bandları.....	12
Şekil 2.1 : Test alanına ait hava fotoğrafı.....	7
Şekil 2.2 : 1024 x 1024 MS inceleme görüntüsü.....	8
Şekil 2.3 : 2048 x 2048 PAN inceleme görüntüsü	9
Şekil 3.1 : Görüntü birleştirme algoritmasının modellenmesi.....	12
Şekil 3.2 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi	14
Şekil 3.3 : IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi.....	16
Şekil 3.4 : PCA dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi	18
Şekil 3.5 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi I.....	21
Şekil 3.6 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi II.	22
Şekil 3.7 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi I.....	23
Şekil 3.8 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi II	124
Şekil 3.9 : Global Yapı.	145
Şekil 3.10 : Blok Yapı	26
Şekil 3.11 : Pencere Kaydırma Yapısı.....	26
Şekil A.1 : Brovey yöntemi ile birleştirilmiş görüntü	512
Şekil A.2 : IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi.....	52
Şekil A.3 : PCA dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi	53
Şekil A.4 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi I ile birleştirilmiş görüntü	54
Şekil A.5 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi II ile birleştirilmiş görüntü.....	55
Şekil A.6 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi I ile birleştirilmiş görüntü.....	56
Şekil A.7 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi II ile birleştirilmiş görüntü	57

OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE YEREL DALGACIK YAKLAŞIMI

ÖZET

Bu çalışmada, 2009 yılı SPOT5 uydusuna ait, 10 m geometrik çözünürlüklü 3 bant Multispektrel verisi ile aynı alana ait 5 m geometrik çözünürlüklü tek bant Pankromatik verisi, 10 m geometrik çözünürlüğe örneklenerek birleştirilmiştir. Böylece her iki uydu verisinin üstün niteliklerini bünyesinde barındıran, hem 3 bantlı spektrel çözünürlüğü yüksek hem de geometrik çözünürlüğü yüksek yeni bir görüntü elde edilmiştir.

Çalışmanın temel amacı, spektrel özellikleri olabildiğince koruyarak geometrik çözünürlüğü yüksek görüntülerin elde edilmesi ve elde edilen görüntünün hangi parametrelerle elde edildiğinin belirlenmesidir. Dört farklı görüntü birleştirme tekniği; yüksek spektrel, düşük geometrik çözünürlüklü uydu görüntüleri ile düşük spektrel, yüksek geometrik çözünürlüklü uydu görüntülerine uygulanmıştır. Kullanılan görüntü birleştirme teknikleri; Brovey dönüşümü (BT) ile görüntü birleştirme, yoğunluk renk tonu doygunluk (IHS) dönüşümü ile görüntü birleştirme, temel bileşenler analizi (PCA) ile görüntü birleştirme, dalgacık dönüşümü (WT) ile görüntü birleştirme olarak seçilmiş olup, görüntüye 3 farklı yapıda uygulanmıştır. Bu yapılar global yapı, blok yapı, pencere kaydırma yapısı olarak uygulanmıştır. Çalışmada SPOT5 uydusundan alınmış, İstanbul ili Boğaziçi bölgesine ait görüntüler kullanılmıştır.

Görüntü birleştirme işleminin yöntemlere göre yapılıp, sonuçların elde edilmesi ve karşılaştırılması için yapılan hesaplamalar MATLAB platformu üzerinde geliştirilmiştir. Birbirinden farklı yöntemlerle elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler; orijinal görüntüler ile birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Kalite değerlendirme metrikleri olarak kullanılan yöntemler; spektral açı eşleştiricisi (SAM), ortalama karesel hata (RMSE), göreceli küresel boyutsal sentez hatası (ERGAS) ve bağıl ortalama spektral hata (RASE), referanssız kalite değerlendirmesi (QNR), evrensel görüntü kalitesi dizini değerlendirmesi (UIQI) olup, bu yöntemler kullanılan tekniklerin başarılarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Böylece seçilecek parametreye bağlı olarak görüntü birleştirme yönteminde başarı oranı arttırılabilir.

WAVELET APPROACH OF IMAGE FUSION ALGORITHMS IN REMOTE SENSING

SUMMARY

Global and local scale work requires the acquisition and storage of current and accurate information of the earth and the analysis of data in different structures. Thanks to today's technology, significant tools have been developed to increase the expected success of the studies. Both software and hardware developments have supported the advancement of satellite technologies. Developments in satellite technology, especially in recent years, provide important advantages to users in order to obtain information on the earth fast, economically and with high accuracy.

Most of the earth can be viewed with different spatial and spectral resolutions at different time intervals with the aid of remote sensing technologies and satellite images obtained can be used as basis in many studies.

Integration of digitally recorded satellite images and different location data is done by creating geographical information systems. In this way, it is possible to produce analysis, interpretation and solution proposals of many problems based on location. In this study, the 10 m geometric resolution and 3 band Multispektrel 5 m geometric resolution and single band SPOT 5 panchromatic data of the same area with the Spot 5 data are combined by sampling at 10 m geometric resolution. Thus, a new image with high 3-band spectral resolution and high geometric resolution has been obtained that accommodates the superior qualities of both satellite data.

The main purpose of the workshop is to obtain images with high geometric resolution while preserving spectral features as much as possible and determining by which parameters the resulting image is obtained. Four different image combining techniques have been applied to high geometric, low geometric resolution satellite images and high geometric and low spectral satellite images. The main purpose of

the work is to obtain images with high geometric resolution while preserving spectral features as much as possible.

The techniques used were selected as image combining with Brovey transformation (BT), image combining with intensity-color tone saturation (IHS) transformation, image combining with basic component analysis (PCA), image combining with wavelet transform (WT).

Wavelet Transform has been started to be used in different disciplines with the researches made towards the end of 1980s and it is a method used in various analyzes such as target recognition, data compression. Wavelet transformations can effectively express data with local changes. Compared to the Fourier structure, frequency analysis was switched from frequency analysis to scale analysis. It is clear that the analysis of the measured mean fluctuations in different scales is less sensitive to noise. Instead of making general decisions about the time series, small fluctuations in the regional scale may be important. Therefore wavelet analysis is an option for users.

Wavelet Transformation substitution I method; in wavelet analysis of the multispectral image, detail information expressing high frequency has been replaced with detailed information in the pan image. Wavelet analysis was performed and the reconstructed view was reconstructed with modified inverse wavelet transform.

Wavelet Transformation substitution II method; wavelet analysis of the multispectral image and pan image is performed twice and the detail information expressing the high frequency in the wavelet analysis of the approximate value of the multispectral image is replaced with the detailed information in the pan image. Wavelet analysis was performed and the reconstructed view was obtained by applying an inverse wavelet transform twice to the modified data.

Wavelet Transformation addition I method; in wavelet analysis of multispectral image view, detailed information expressing high frequency is collected with detailed information in pan image. Then, the combined image is obtained by the inverse wavelet transform.

Wavelet Transformation addition II method; wavelet analysis of the multiple spectral image and pan image is performed twice and the wavelet analysis of the approximate value of the MS image is combined with the detail information in the pan image of the detail information expressing the high frequency. Wavelet analysis was performed and the reconstructed view was obtained by applying a reversed wavelet transform to the data with modified information.

All of these are applied in 3 different structures; these structures are implemented as global structure, block structure, window shift structure. In global construction, image combining technology has been applied to the entire image at once. In the block structure, we divided the blocks into 2 blocks and applied the image merging method afterwards. Since the display is 1024 pixels, the block size can take a maximum of 2^9 values. In window shifting, we divide the bottom windows so that the image is 2 times, then we apply the splicing method by setting the shifting amount so that the window we selected will be 2 times and shifting the window over the image.

In the study, the images of İstanbul Province taken from SPOT5 conformity were used. The main characteristics of the Istanbul test area have intensive urbanization, highway, bridge, intersection, different hydrological structures such as sea, stream, dam, intense marine traffic, less green area and less rugged area, it has fields such as park, stadium, forest.

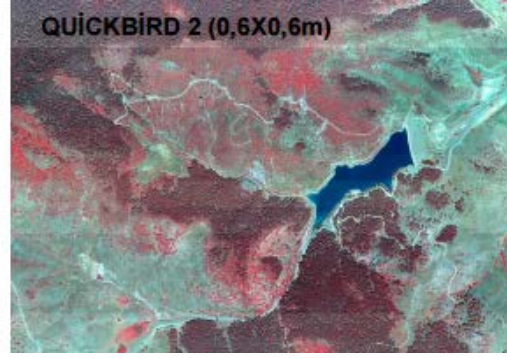
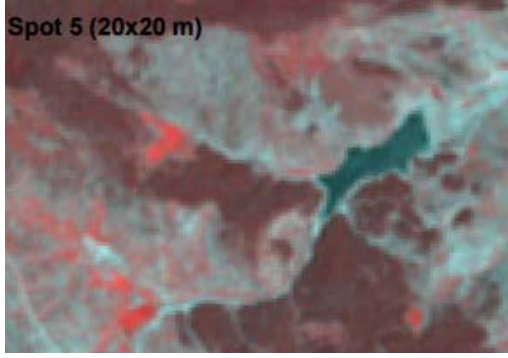
The calculations made for the image fusion process according to the methods and for obtaining and comparing the results have been developed on the MATLAB platform. High-resolution images obtained by different methods; Original images and are compared between each other. Methods used as quality evaluation metrics; (SAM), mean square error (RMSE), relative spherical dimensional error (ERGAS) and relative mean spectral error (RASE), reference quality (QNR), and universal image quality index (UIQI) Have been used in evaluating the achievements. The results obtained thus reveal the superiority of the proposed method. Thus, depending on the selected parameter, the success rate of the image combining method can be increased.

1. GİRİŞ

1950’li yıllarda başlayan istihbarat amaçlı yer gözlem çalışmalarından sonra, yapay uydular yardımıyla sivil amaçlı uzaktan algılama çalışmaları 1972 yılında Landsat serisi uydulardan ilk serisinin (ERTS 1: Earth Resources Technology Satellite) yörüngeye yerleştirilmesi ile başladığı bilinmektedir. Bir süre sonra bu uyduların yetersiz kalan geometrik çözünürlüğü ve düşük stereo görüş özelliği sebebiyle yeni uyduların kullanım ihtiyacı oluşmuştur. Bunun sonucunda en önemli gelişme olarak , 1986 yılında fırlatılan Fransa'ya ait SPOT (Satellite Pour l’Observation de la Terre) uydu serisinin kullanılmaya başlaması olarak kabul edilir. Görüntülerde kullandığımız SPOT5 uydusu üzerinde yüksek çözünürlükte algılama yapmasını sağlayan iki adet HRG sensörü vardır. Bu sensörler pankromatik algılama modunda 2.5 metre ile 5 metre, multispektral algılama modunda 10 metre çözünürlükte veri sağlayabilmektedir. Ülkemizde ise yer gözlem çalışmaları sırasıyla Bilsat, Rasat, Göktürk-2 ve Göktürk-1 ile devam etmektedir.

Bu çalışmada görüntü birleştirme yönteminden kastettiğimiz, herhangi bir alanın yada bir objenin yüksek geometrik çözünürlük detayları içeren pankromatik görüntüsü ile yüksek spektral çözünürlük detayları içeren multispektral görüntüsünün uygun yöntemlerle bir araya getirilerek yüksek spektral ve geometrik çözünürlüğün elde edildiği pan keskinleştirilmiş görüntüye ulaşma yöntemidir.

Geometrik çözünürlük, uydu sensörü tarafından zemin üzerinde ölçülen yüzey alanının boyutunu temsil eden görüntünün, piksel boyutu olarak tanımlanır. Mekansal detayları içeren görüntüler, çıplak gözle ayırt edebileceğimiz şekil, büyüklük, renk, genel görünüm, yüzey yapıları ve objeler hakkındaki bilgileri bize doğrudan sunar. Bunlar bir görüntünün mekansal içeriği olarak adlandırılırlar (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Spot 5 ve Quickbird uydularının Geometrik Çözünürlük karşılaştırması

Spektral çözünürlük, bir algılayıcı sistemin elektromanyetik spektrumdaki ayırt etme gücü olarak ifade edilir.

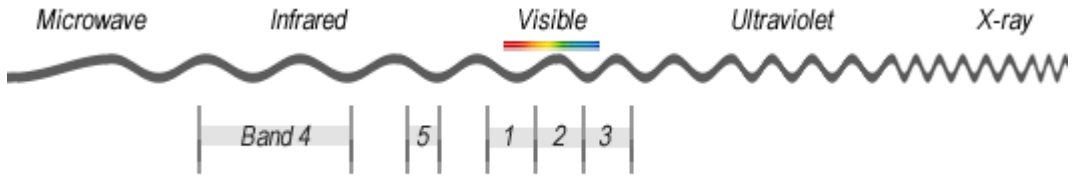
Band aralığı daraldıkça spektral çözünürlük artar veya band aralığı genişledikçe spektral çözünürlük azalır. Bir görüntüdeki spektral detaylar, farklı objeler için genelde farklı dalga boyu aralıklarına verdikleri yanıtların karşılaştırılması ile ayırt edilebilir. Örneğin; su, toprak ve bitki örtüsünün farklı dalga boylarında verdikleri yansıma değerleri birbirinden farklıdır (Şekil 1.2).

Algılayıcıların spektral çözünürlükleri ile kastettiğimiz değer, algılayabildikleri elektromanyetik spektrum bölgelerinin sayısı düşünülebilir. Ancak, bant sayısı tek başına spektral çözünürlüğe denk gelmez. Bununla beraber, bantların elektromanyetik spektrumdaki durumu da dikkate alınmalıdır. Bu nedenle multispektral görüntüler genellikle piksel cinsinden temsil edilen 3-10 bantları belirtir (Şekil 1.3). Hiperspektral görüntüler ise çok daha dar bantlardan oluşup, yüzlerce banda sahip olabilir (Şekil 1.4).

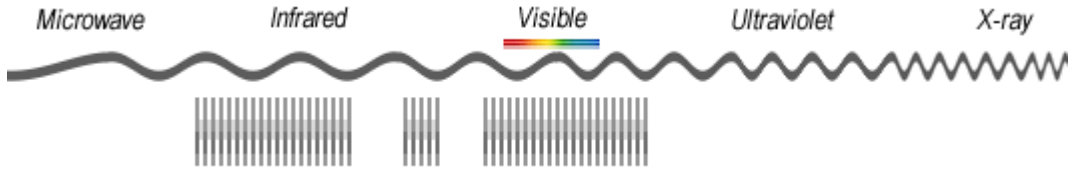
Yüksek spektral çözünürlük yaklaşık 220 band adetinden, ortalama spektral çözünürlük 3-15 aralığındaki band sayısından, düşük spektral çözünürlük en fazla 3 band adetinden oluşmaktadır. Daha iyi bir spektral çözünürlük, özel bir kanal veya bant için daha dar dalga boyu aralığı demektir. Yani, bir bant veya kanalın spektral çözünürlüğü ne kadar yüksekse, o bant veya kanalın duyarlı olduğu yani alım yapılan dalga boyu aralığı o kadar dar demektir.



Şekil 1.2 : Quickbird Uydusuna ait farklı spektral çözünürlüklü görüntüleri.



Şekil 1.3 : 5 adet geniş band içeren Multispektrel Görüntü bandları.



Şekil 1.4 : Yüzlerce dar band içeren Hiperspektrel Görüntü bandları.

Çalışmamızda Pankromatik ve Multispektrel görüntüler olmak üzere 2 tip görüntü kullanacağız.

Pankromatik sensörler tek bant olarak spektrumun görünen (visible) ile yakın kızılötesi (near-infrared) bölümü algılamaktadır. Bu sensörlerden üretilen, pankromatik veriler siyah-beyaz görüntü olarak oluşturmaktadırlar.

Multispektrel sensörler elektromanyetik spektrumda birden fazla bantta ölçüm yapmaktadırlar. Örneğin; alıcıların bir kısmı görünür kırmızı yansıyan enerjiyi ölçerken, diğer grup yakın kırmızı ötesi (near-infrared) enerjiyi ölçer. İki ayrı algılayıcı (sensör) dizilimi aynı dalga boyunun değişik bölümlerindeki enerjiyi ölçebilirler. Bu çoklu yansıma değerleri; renkli görüntü yaratmak için birleştirilirler. Günümüzdeki multispektrel (çok bantlı) uzaktan algılama uyduları bir kerede 3 ila 7 değişik banttaki yansımaları ölçebilirler.

Bu sayede birleştirilmiş uydu görüntüleri; çevre, orman, tarım, jeoloji, deniz ve okyanus bilimleri,meteoroloji, şehir planlama, petrol ve maden arama gibi sayısız uygulama alanlarında farklı amaçlar için kullanıma katkı sağlamaktadır. Böylece, uydu görüntülerinin ve onlardan sağlanan bilgilerin ne kadar değerli olduğu bir çok yolla ispatlanmış olmaktadır.Uzaktan algılamayla elde edilen görüntülerin kullanım alanları aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 : Uydu Görüntülerinin Kullanım Alanları

Problem Alanı	Kullanım Alanı
Haritacılık	Sayısal arazi modelleri üretilmesi, Yeryüzü deformasyonlarının izlenmesi, Topoğrafik harita üretimi.
Hidroloji	Su kalitesi analizleri, Su kirliliği izleme, Sel haritalaması ve izleme, Kar dağılımını ve miktarını belirleme, Buz erimesi ve buz hareketi gözlem, Gemi atıklarını izleme.
Tarım	Arazi kullanımının belirlenmesi, Bitki tipini ayırma, Ürün çeşitliliğinin belirlenmesi, Bitki canlılığının izlenmesi, Bitki gelişimini izleme, Rekolte tahmini, Toprak nemi ve türünü belirleme.
Jeoloji Maden	Jeolojik yapı araştırmaları, Fay, çizgisellik ve kırıkların tanımlanması, Jeotermal araştırmalar, Deprem araştırmaları, Volkanik araştırma çalışmaları ve izleme, Maden ve yeryüzü kaynaklarının aranması, Petrol aramaları, Kayaç tiplerinin tespiti, Petrol sızıntılarının tespiti.
Ormancılık	Orman türlerinin haritalanması; Ağaç hastalıklarının izlenmesi; Ormansızlaşma ve çölleşme izleme; Kereste üretimi tahmini ve planlaması; Orman yangınlarının izlenmesi.
Çevre	Ekolojik gelişmelerin sürekli ve geniş, ölçekte izlenmesi, Arazi örtüsü veya kullanımının haritalanması, Akarsu, deniz ve göl su kirliliklerinin belirlenmesi, Kıyı alanlarındaki değişimlerin izlenmesi, Sanayi alanları ve çevresindeki değişimlerin izlenmesi, Orman alanlarındaki değişimin izlenmesi.
Şehircilik Faaliyetleri	Arazi örtüsü ve kullanımının belirlenmesi, Şehirleşmedeki gelişimin izlenmesi, Zaman içinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi, Altyapı çalışmaları, Kaçak yapılaşmanın tespiti, Planlama çalışmaları, Sayısal yükseklik modeli üretimi.

1.1 Tezin Amacı

Uydu görüntülerinin birleştirilmesiyle ilgili olarak geçmişten günümüze yapılmış olan çalışmalarda birçok farklı yöntem kullanılarak pan keskinleştirilmiş sonuç görüntüleri elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan, temel görüntü birleştirme yöntemleri ile dalgacık dönüşümü yöntemi görüntüye 3 farklı yapıda uygulanmıştır. Görüntüye uygulanan dalgacık dönüşümü yöntemine 2 seviyede ölçeklendirme yapılarak görüntü birleştirme yapılmıştır. Kullanılan yapıların seçilen parametrelere bağlı olarak hangi yöntemde daha başarılı sonuç verdiği irdelenmiş olup, hangi yapıda hangi yöntemin kullanılması gerektiği konusunda fikir vermesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla bu konuda yapılacak uygulamalarda, ticari uydu görüntüsü işleme programlarına (ERDAS, ENVI, ArcGIS vb.) alternatif olarak olabilecek bir çalışma gerçekleştirilmiş olup klasik programlara bağlı kalmadan standart yöntemler yerine seçilecek parametreye göre istenilen yöntemin kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

2. TEST ALANI VE TEKNİK ÖZELLİKLER

2.1 Test Alanı

İstanbul ilinde yer alan çalışma alanı, yaklaşık 41.05 Kuzey Enlem 29.01 Doğu Boylam koordinatlı nokta etrafındaki yaklaşık 10,2 km x 10,2 km' lik kentsel alanı kapsamaktadır. İstanbul 14.000.000'u aşkın nüfusu ile Türkiye'nin ekonomik açıdan en gelişmiş ilidir. Şekil 2.1' de İstanbul ili ve çalışma alanı Türkiye haritası üzerinde gösterilmektedir. Görüntünün ortasında İstanbul Boğaz'ı yer almaktadır. Görüntüler UHUZAM tarafından sağlanmıştır.

İstanbul test alanının başlıca temel özellikleri:

- a) Yoğun kentleşme, karayolu, köprü, kavşak gibi yapılara
- b) Deniz, dere, baraj gibi farklı hidrolojik yapılara,
- c) Yoğun deniz trafiğine,
- d) Az yeşil Alana ve daha az engebeli alana
- e) Park, stadyum, koru gibi alanlara sahip olmasıdır.



Şekil 2.1 : Test alanına ait hava fotoğrafı

2.2 Teknik Özellikler

Çalışmanın gerçekleştirildiği görüntüler 16 Eylül 2012 tarihli SPOT 5 uydu geçişinde kaydedilmiş, 1A seviye (Afin dönüşü yapılmamış) İstanbul Boğaziçi Bölgesi'ni ve Haliç'in bir kısmını içeren MS (Şekil 2.2) ve Pan (Şekil 2.3) görüntüleridir.

Çalışma bölgesine ait görüntüler şekillerde verilmiştir.



Şekil 2.2 : 1024 x 1024 MS inceleme görüntüsü



Şekil 2.3 : 2048 x 2048 PAN inceleme görüntüsü

SPOT 5 uydusunun teknik özellikleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Spot 5 Uydusu Özellikleri

Görev Tarih Aralığı	3 Mayıs 2002 – 31 Mart 2015
Fırlatılma Yeri-Aracı	Fransa Guiana Uzay Merkezi-Kourou – Ariane 4
Ekvatorial Yükseklik	822 kilometre
Eğiklik Açısı	98.7°
Hız -Yörünge	7.4 Km/sn (26,640 Km/sa) - Güneş Senkronize Yakın Kutupsal
Ekvator Geçiş Zamanı	10:30
Yörünge Periyodu	101.4 dakika
Tekrarlı Geçiş Süresi	2-3 gün, enleme bağlı olarak
Metrik Doğruluk	<50 m yatay konum doğruluğu (CE %90)
Görüntüleme Alanı	60 Km x 60 Km - 80 Km nadir
Modülasyon Tipi – Uydu Frekans	QPSK - 8253 - 8365 MHz (X band)
Algılama Açısı -Sensör Tipi	± 31.06 derece - 2 adet HRG
Görüntü Kodlama	8 bits
Geometrik Çözünürlük	Pan: 2.5m x 2.5m (birleştirilerek) Pan: 5m (nadir) MS: 10m (nadir) SWIR: 20m (nadir)
Görüntü Bandları	Pan: 480-710 nm Yeşil: 500-590 nm Kırmızı: 610-680 nm Yakın Kızılötesi: 780-890 nm (Near IR) KısaDalgaboyu Kızılötesi: 1,580-1,750 nm (SWIR)

3. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

3.1 Görüntü Birleştirme Modeli

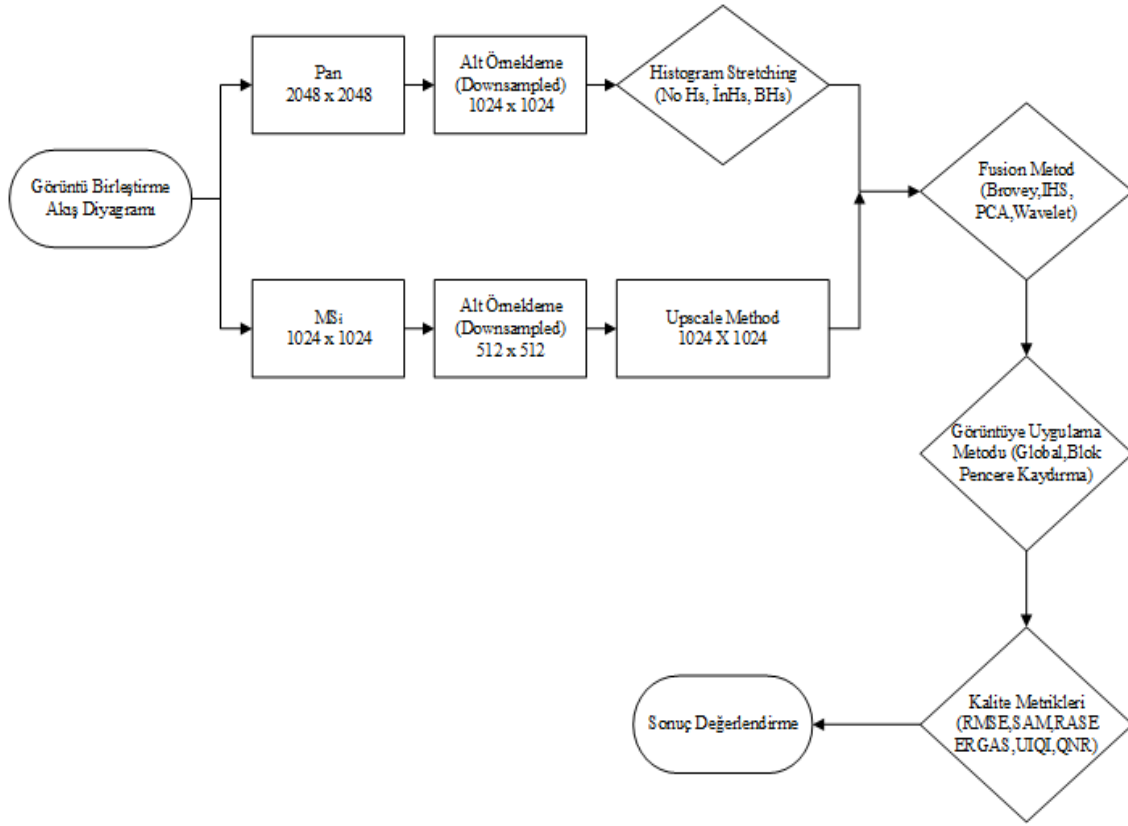
Literatürde “fusion” kelimesi "birleştirme, kombine etme, sinerji, entegrasyon gibi bir çok anlama gelecek şekilde kullanılmaktadır. En genel tanım olarak veri birleştirme (data fusion) farklı kaynaklardan alınmış olan verilerin belirli algoritmalar kullanılarak yeni bir veri seti oluşturmak üzere bir 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, pankromatik görüntülerin yüksek mekansal özellikleri ile birleştirilerek görüntü kalitesinin zenginleştirilmesi (pankeskinleştirme) işlemi de bu kapsamda incelenmektedir.

Görüntü birleştirme işlemi aşağıdaki adımları içermektedir (Şekil 3.1).

- MS görüntünün Pan görüntüyle eş çakıştırılması (co-registration)
- MS ve PAN görüntünün örneklenmesi
- MS görüntünün ölçeğinin büyütülerek PAN görüntü ile aynı boyuta getirilmesi
- Pan görüntünün kontrastlığının artırılması için histogram germe işleminin uygulanması
- Görüntü birleştirme: Pan görüntüden mekansal bilginin çıkartılarak, mekansal bilginin MS görüntüye eklenmesi
- Görüntü birleştirme işleminin görüntüye; global, blok, pencere kaydırma yapılarında uygulanması
- Elde edilen sonuçların kalite metriklerine göre değerlendirilmesi yapılır. (Akoğuz, 2013).

SPOT uydusu için MS ve PAN görüntü algılanması aynı zaman diliminde gerçekleştirildiği için görüntüler arasında zaman gecikmesi olmayacağından (görüntüler co-registered) birinci adım gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 3.1 : Görüntü birleştirme algoritmasının modellenmesi

3.2 Görüntü Birleştirme Yöntemleri

Elde edilen görüntülerin kullanım amaçlarına paralel olarak görüntü birleştirme yöntemlerinin çok çeşitli olması bir sınıflandırma ihtiyacını oluşturmaktadır. 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 topluluğun kabul ettiği sınıflandırma metodları aşağıdaki gibidir:

1. Modülasyon bazlı yöntemler
2. Bileşen değişim bazlı yöntemler
3. Çoklu çözünürlük analizi bazlı yöntemler

3.2.1 Modülasyon Bazlı Yöntemler

Modülasyon bazlı yöntemlerde kullanılan yöntem şu şekildedir; MS görüntünün kombinasyonlarından bir ara görüntü hazırlanır, sonrasında PAN görüntünün bu ağırlıklandırılmış doğrusal görüntüye oranı hesaplanır. 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.

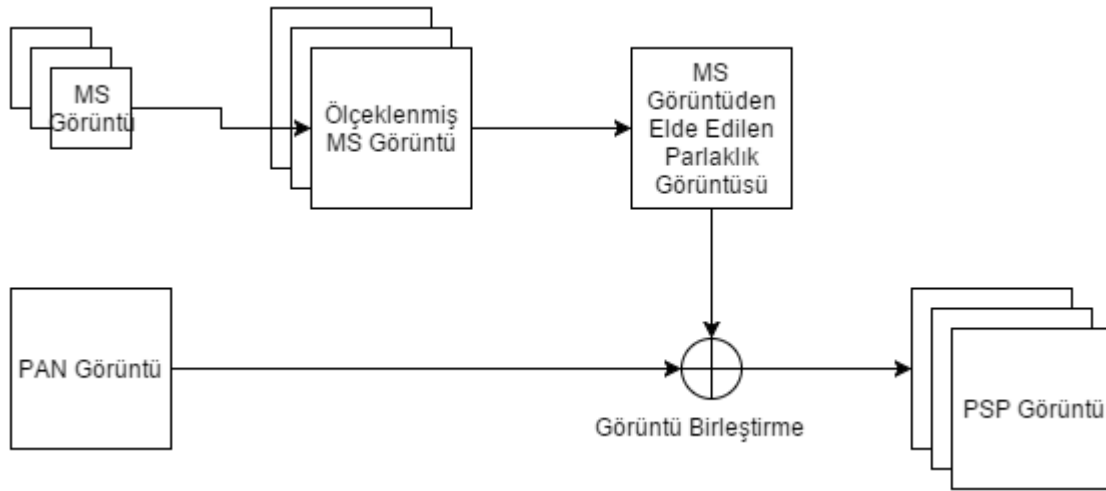
3.2.1.1 Brovey dönüşümü

Brovey dönüşümü, görüntünün keskinleştirilmesi için belli 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 ayrık olarak teker teker oluşturulması



Şekil 3.2 : Brovey dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi

Brovey dönüşümünü matematiksel olarak ifade etmek gerekirse;

$$\hat{I} = \frac{1}{n} \sum_{band=1}^n \hat{M}_{band} \quad (3.1)$$

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.

$$\hat{M}_{band} = \hat{M}_{band} \cdot \frac{P}{\hat{I}} \quad (3.2)$$

Bu denklem yeniden düzenlenirse;

$$\hat{M}_{band} = \hat{M}_{band} + \frac{\hat{M}_{band}}{\hat{I}} (P - \hat{I}) \quad (3.3)$$

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

3.2.2 Bileşen değişim yöntemleri

Bileşen değişim yöntemlerinin baz aldığı yapı şu şekildedir; 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 olarak özetlenebilir.

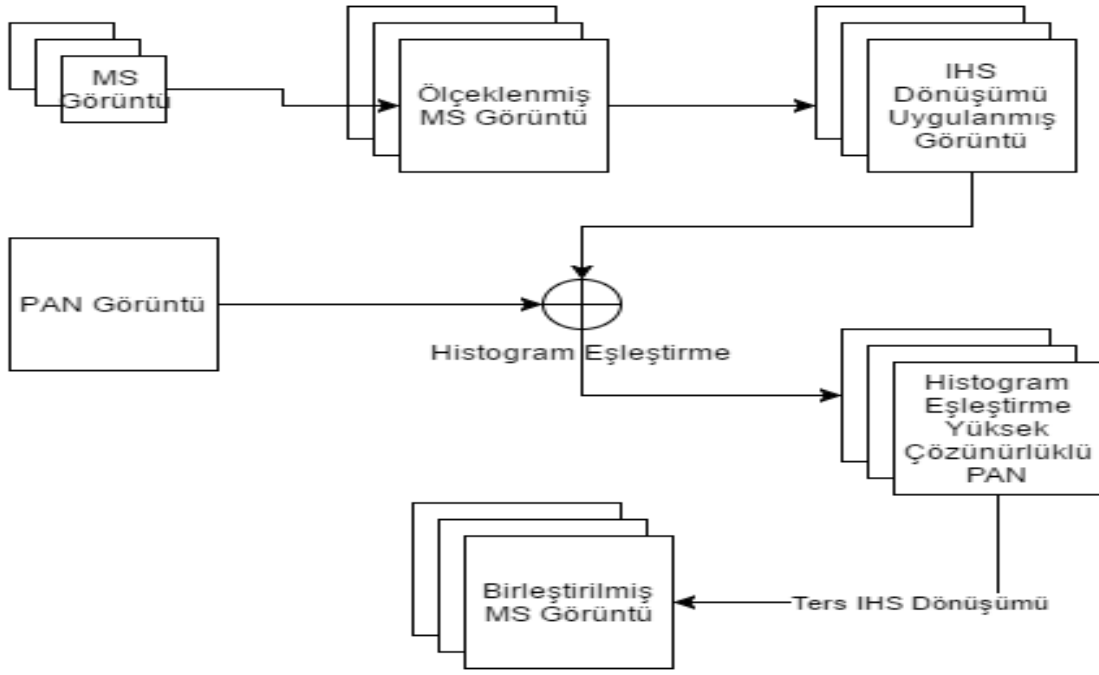
IHS (parlaklık-renk özü-doygunluk) ve PCA (Temel bileşen analizi) bu başlık altında incelenecek olan bileşen değişim yöntemleridir.

3.2.2.1 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 histogram eşleştirme işleminin uygulanması
- I görüntüsünün yerine histogram eşleştirme işlemi yapılmış PAN görüntüsü kullanılarak ters IHS dönüşümü ile birleştirilmiş görüntünün her bir bant için elde edilmesi şeklinde uygulanmaktadır.



Şekil 3.3 : IHS dönüşümü ile görüntü birleştirme modellenmesi

$$\begin{aligned} v_1 &= S \cdot \cos H \\ v_2 &= S \cdot \sin H \end{aligned} \quad (3.4)$$

Multispektral görüntüye IHS dönüşümü uygulandığı zaman $I - v_1 - v_2$ 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;

$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{M}_1 \\ \hat{M}_2 \\ \hat{M}_3 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

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 (3.6)'daki gibi olmaktadır:

$$\begin{bmatrix} \hat{M}_1 \\ \hat{M}_2 \\ \hat{M}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I \\ \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Burada I yerine histogram eşleştirilmiş PAN görüntü kullanıldığı için formül Denklem (3.7)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{M}_1 \\ \tilde{M}_2 \\ \tilde{M}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{M}_1 \\ \hat{M}_2 \\ \hat{M}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} PAN_{hm} - \tilde{I} \\ PAN_{hm} - \tilde{I} \\ PAN_{hm} - \tilde{I} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

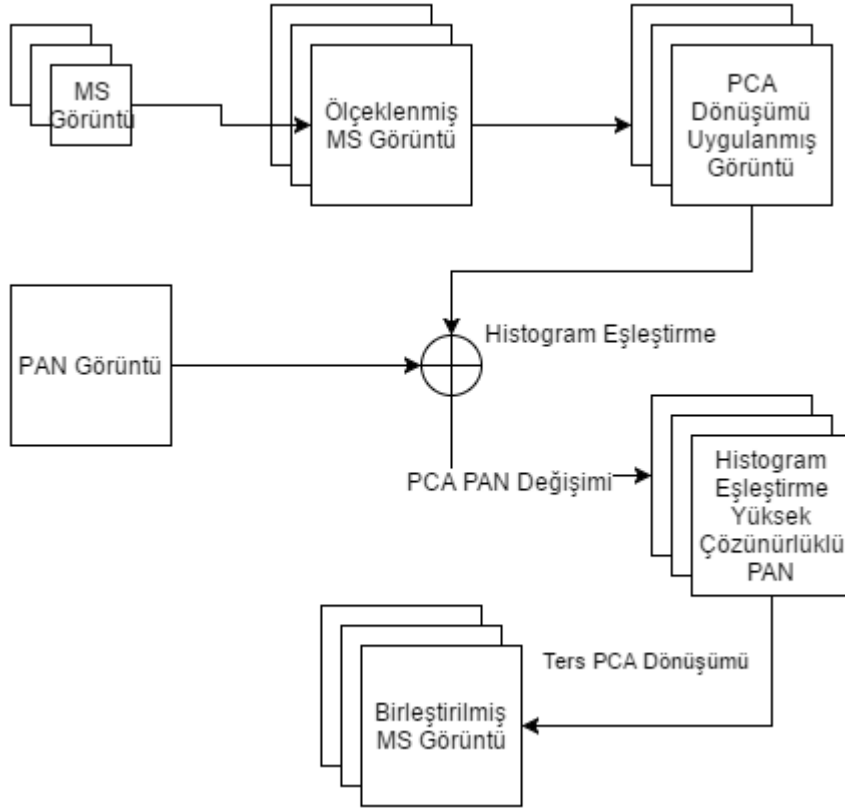
$\hat{M}_1, \hat{M}_2, \hat{M}_3$ pankeskinleştirilmiş görüntünün bantlarını göstermekte olup; PAN_{hm} histogramı eşleştirilmiş PAN görüntüyü ifade etmektedir.

3.2.2.2 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 3.4).

Yöntemin uygulanması temel olarak :

- MS görüntünün her bir bandının Pan görüntü boyutları esas alınarak ölçeğinin büyütülmesi;
- Ölçeği büyütülmüş MS görüntü bandları arasında PCA uygulanması;
- Pan görüntünün, ilk temel bileşene göre histogramının eşleştirilmesi;
- İlk temel bileşenin histogram eşleştirilmiş Pan görüntüyle değiştirilmesi;
- Ters PCA dönüşümü uygulayarak birleştirilmiş görüntünün elde edilmesi.



Şekil 3.4 : 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 $(r \times c) \times 1$ 'lik bir sütun vektörüdür.

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

Temel bileşenlerin hesaplanacağı kovaryans matrisi C'nin denklemi;

$$C = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \phi_i \phi_i^T = \frac{1}{n-1} A A^T \quad (3.8)$$

C matrisi $(r \times c)^2$ boyutlarında bir matris olduğu için üzerinde görüntü işleme yapılması ve temel bileşenlerin hesaplanması oldukça zor olacaktır. Bu noktada Turk (1991), $A A^T$ 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 (3.9)'daki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} (AA^T)v_i &= \mu_i v_i \\ (A^T A)v_i &= \lambda_i v_i \end{aligned} \quad (3.9)$$

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

$$\begin{aligned} C(Av_i) &= \lambda_i (Av_i) \\ \mu_i &= \lambda_i \quad v_i = Av_i \end{aligned} \quad (3.10)$$

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

3.2.3 Çoklu çözünürlük yöntemleri

Bu kategoride yer alan yöntemlerde mekansal bilginin aktarımı ağırlıklandırma şeklindeki işlemler yerine frekans veya ölçek bölgesinde gerçekleştirilmektedir. Bu başlık altında dalgacık dönüşümü yöntemleri incelenecektir.

3.2.3.1 Dalgacık dönüşümü (Wavelet Transform)

Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform), 1980'lerin sonlarına doğru yapılan araştırmalarla birlikte farklı disiplinlerde kullanılmaya başlanmış olup, hedef tanıma, veri sıkıştırma gibi çeşitli analizlerde kullanılan bir yöntemdir. Dalgacık dönüşümü, yerel değişimleri olan verileri etkin bir şekilde ifade edebilmektedir. Fourier yapısıyla karşılaştırıldığında, frekans analizinin yeterli olmadığı kanaatine varılarak, frekans analizinden ölçek analizine geçiş yapılmıştır. Çünkü ölçülen ortalama dalgalanmaların farklı ölçeklerdeki analizleri gürültüye daha az duyarlı olduğu açıkça görülmüştür. Yani zaman dizilerinin geneline ilişkin kararlar vermek yerine bölgesel ölçekte oluşan küçük dalgalanmaların önemli olabileceği gündeme gelmiştir. Dolayısıyla kullanıcılar için dalgacık analizi seçenek olmuştur.

Dalgacık analizi için ikili; sentezi için ikili, yani toplam dört adet FIR filtre kullanılmakta olup bu filtreler, dörtlü yansıtım filtresi (kernel) olarak isimlendirilirler. İki boyutlu veri kümesi üzerinde analiz yapmak amacıyla ayrılabilir fonksiyonlardan faydalanarak her bir boyut doğrultusunda basit analiz filtrelerinden geçirilerek işlem yapılır.

Dalgacık analizi (dalgacık dönüşümü) için örnek olarak (m x n) boyutlu bir matriste önce n adet sütun boyunca analiz filtreleri uygulanıp iki örnekte bir veri alındıktan sonra, m adet satır boyunca, aynı analiz filtreleri uygulanıp iki örnekte bir veri alınır .

Burada elde edilen dört bileşenden LL, yaklaşık değeri (Approximation) ; LH, yatay detayı (Horizontal details); HL, dikey detayı (Vertical details) ve HH çapraz detayı (Diagonal details) ifade eder.

Giriş verisinin ayrıldığı bu dört bileşenden kayıpsız olarak tekrar geri getirilebilmesi için dalgacık sentezi (ters dalgacık dönüşümü) uygulanır. Sentez işleminde bu sefer öncelikle ayrıştırılmış verilere önce m adet satır boyunca (verinin satır uzunluğu iki kat olacak şekilde) sıfır ekleme yapılarak analiz filtrelerinin yansıtılmış sentez filtreleri kullanılır ve sonrasında da n adet sütun boyunca sıfır ekleme yapılarak sentez filtresinden geçirilir.

Dalgacık dönüşümü matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanmış olup; a , ölçekleme parametresini; b dönüşüm parametresini; $x(t)$ işareti; ψ , dalgacık fonksiyonunu(ana dalgacığı) belirtir. Ayırık zamanlı verilerde çalışıldığında genellikle $a = 2^j$ ve $b = k2^j$ olarak tanımlanır.

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.12)$$

Bu çalışmada kullandığımız temel dalgacık fonksiyonu Haar dalgacık fonksiyonu olup, matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

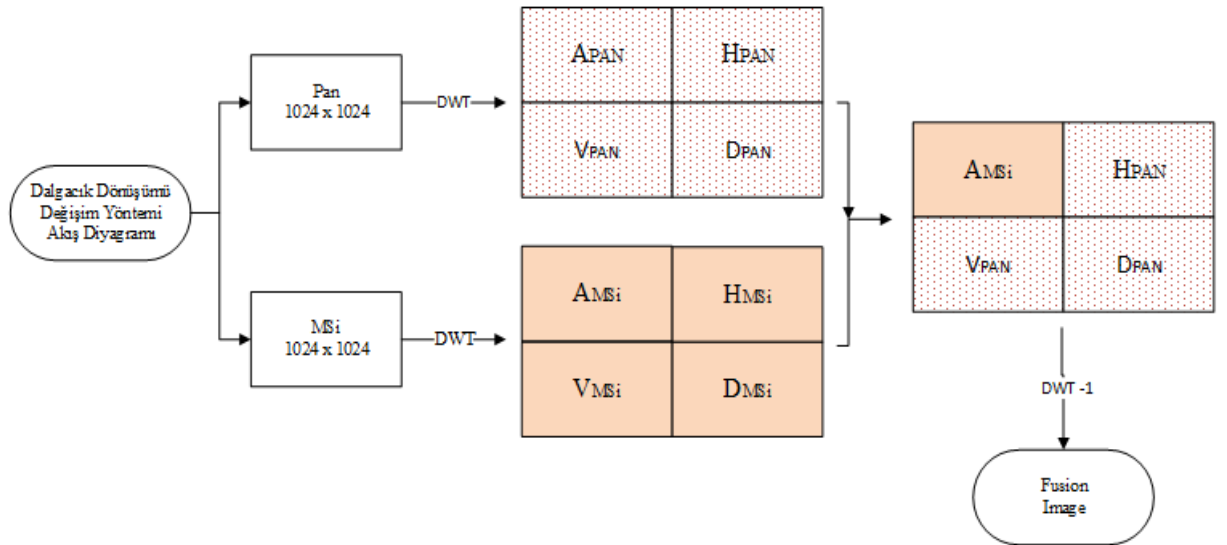
$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.13)$$

Nunez ve diğ. (1999) ve sonrasında Pajares ve Cruz'a (2004) göre, çoklu çözünürlük analizi kapsamında Pan ve MS görüntülerin alçak ve yüksek frekans değerlerini ayırarak ve sonrasında sentez kısmı için uygun bir kombinasyon kurularak görüntü birleştirme sağlanabilmektedir.

3.2.3.1.1 Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi I

Nunez ve diğ. (1999), bu yöntemin gerçekleştirilmesi için gerekli işlemleri şu şekilde belirtmişlerdir (Şekil 3.5) :

- MS görüntünün ölçeğinin büyütülmesi;
- Ölçeği büyütülmüş MS görüntü bantlarından parlaklık matrisinin (I) hesaplanması;
- Pan görüntünün parlaklık matrisi ile histogramının eşleştirilmesi;
- Histogramı eşleştirilmiş pan görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılması;
- Multispektral görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılması;
- Multispektral görüntünün dalgacık analizinde yüksek frekansı ifade eden detay bilgilerinin pan görüntüdeki detay bilgiler ile değiştirilmesi;
- Dalgacık analizi yapılmış ve detay bilgisi değiştirilmiş veriden ters dalgacık dönüşümü ile birleştirilmiş görüntünün elde edilmesi.

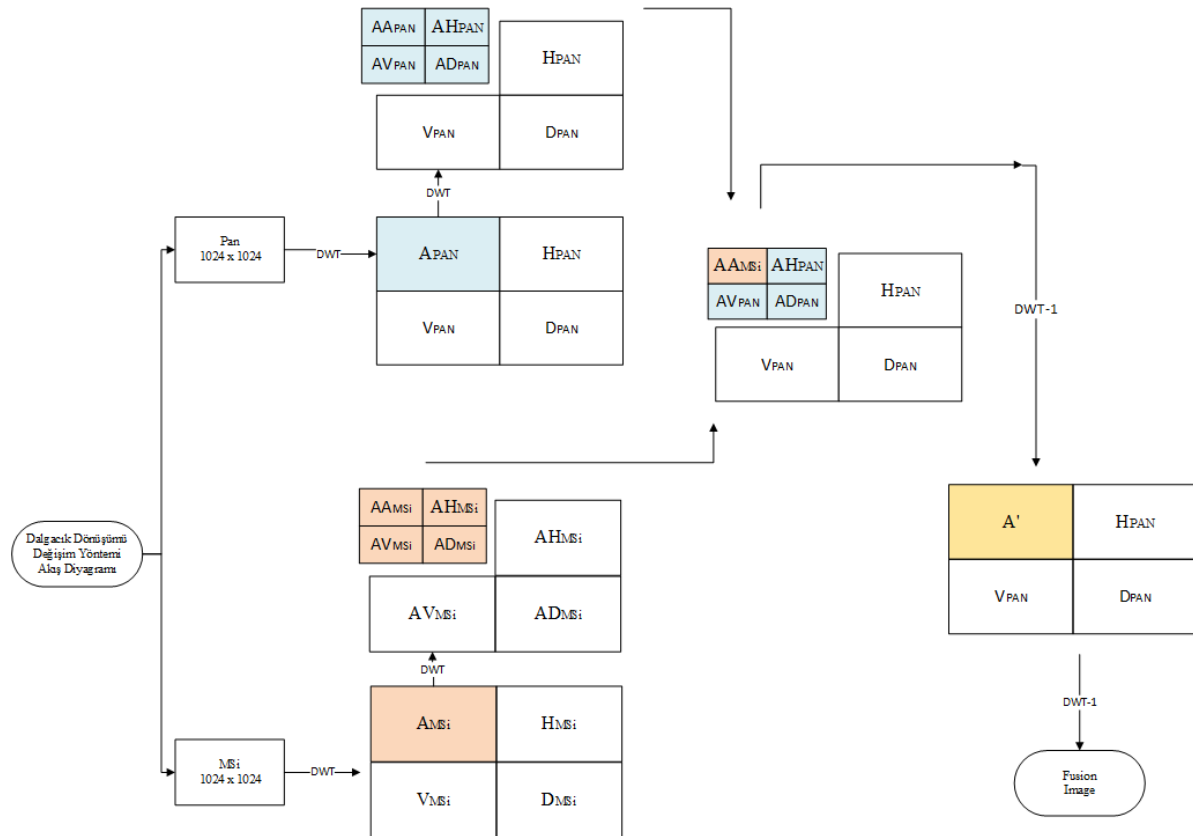


Şekil 3.5 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi I.

3.2.3.1.2 Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi II

Nunez ve diğ. (1999), bu yöntemin gerçekleştirilmesi için gerekli işlemleri şu şekilde belirtmişlerdir:

- MS görüntünün ölçeğinin büyütülmesi, ölçeği büyütülmüş MS görüntü bantlarından parlaklık matrisinin (I) hesaplanması;
- Pan görüntünün parlaklık matrisi ile histogramının eşleştirilmesi, histogramı eşleştirilmiş pan görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılması, yaklaşık değerine tekrar dalgacık analizi yapılması;
- Multispektral görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılması, yaklaşık değerine tekrar dalgacık analizi yapılması;
- Multispektral görüntünün yaklaşık değerinin dalgacık analizinde yüksek frekansı ifade eden detay bilgilerinin, pan görüntüdeki detay bilgileri ile değiştirilmesi;
- Dalgacık analizi yapılmış ve detay bilgisi değiştirilmiş veriye iki defa ters dalgacık dönüşümü uygulanarak birleştirilmiş görüntünün elde edilmesi.

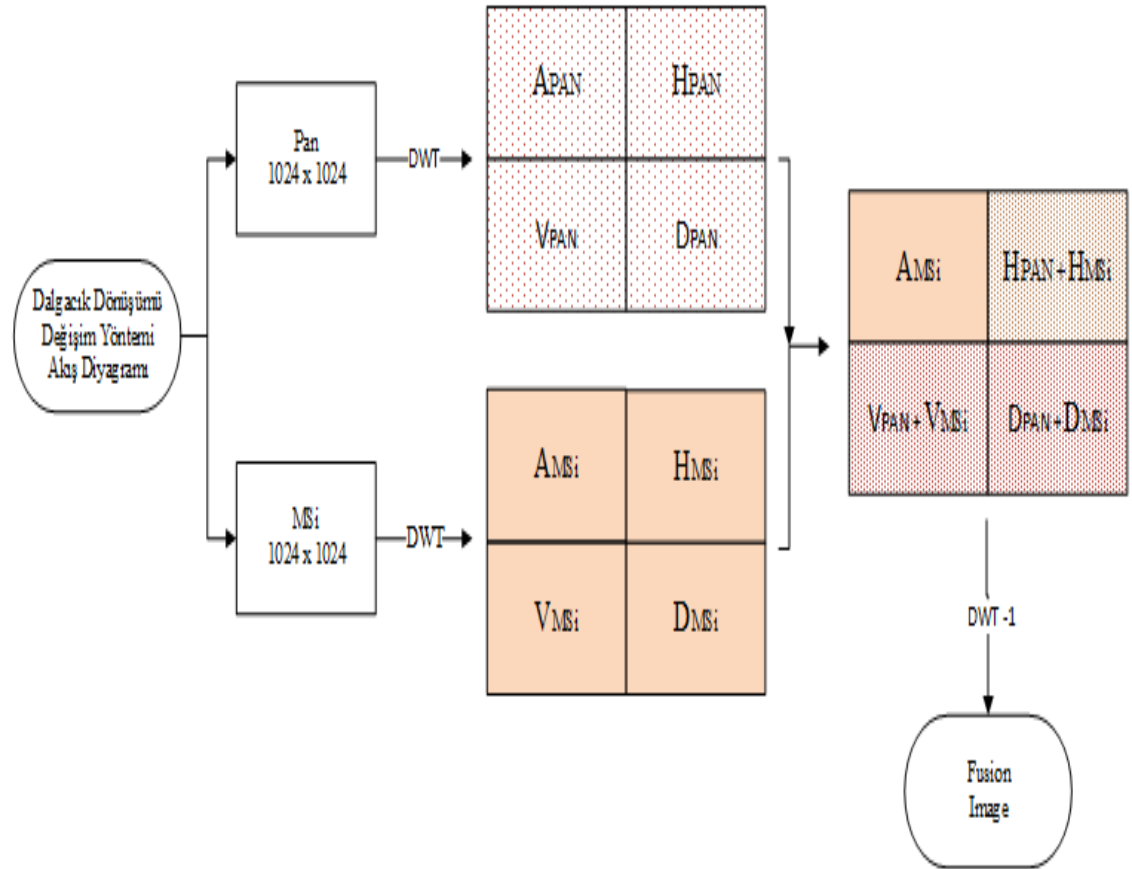


Şekil 3.6 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi II.

3.2.3.1.3 Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi I

Nunez ve diğ. (1999), tarafından ifade edilen yöntem şu şekildedir (Şekil 3.7) :

- MS görüntünün ölçeğinin büyütülmesi;
- Ölçeği büyütülmüş MS görüntü bantlarından parlaklık matrisinin (I) hesaplanması;
- Pan görüntünün parlaklık matrisi ile histogramının eşleştirilmesi;
- Histogramı eşleştirilmiş pan görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılması;
- MS görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılması;
- MS görüntünün dalgacık analizinde yüksek frekansı ifade eden detay bilgilerinin pan görüntüdeki detay bilgiler ile toplanması;
- Ters dalgacık dönüşümü ile birleştirilmiş görüntünün elde edilmesi.

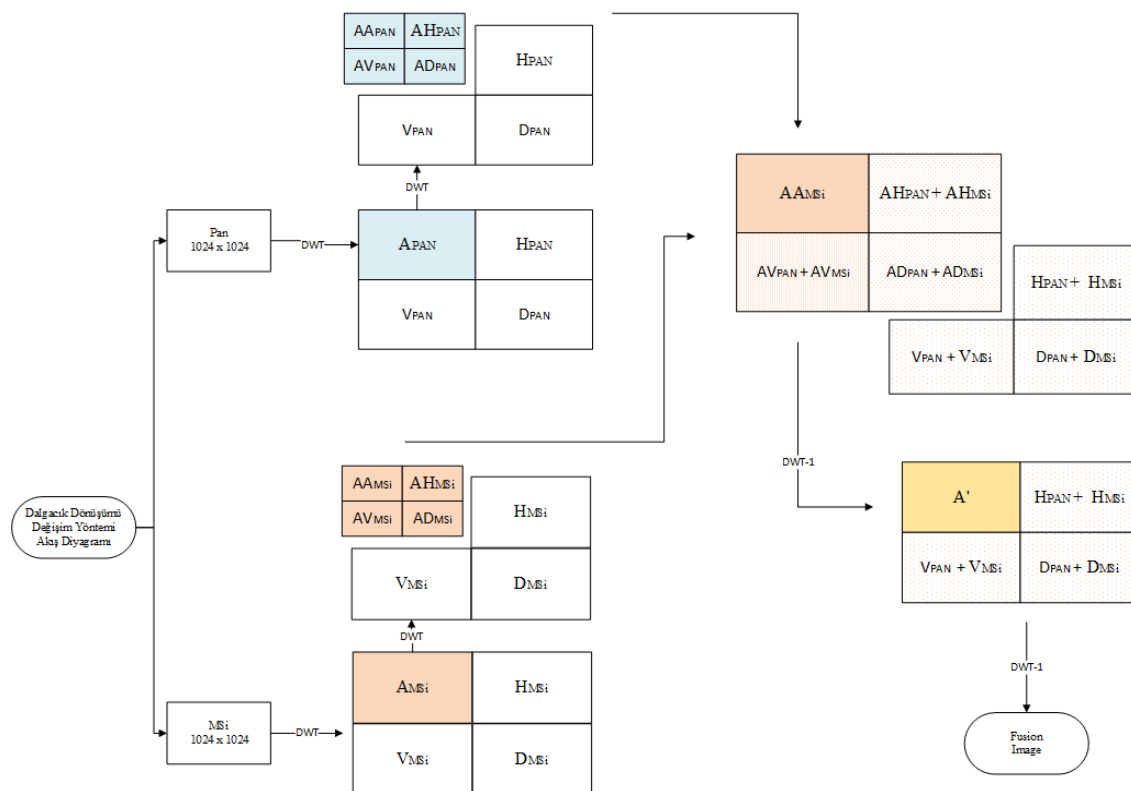


Şekil 3.7 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi I.

3.2.3.1.4 Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi II

Nunez ve diğ. (1999), tarafından ifade edilen yöntem şu şekildedir (Şekil 3.8) :

- MS görüntünün ölçeğinin büyütülmesi;
- Ölçeği büyütülmüş MS görüntü bantlarından parlaklık matrisinin (I) hesaplanması;
- Pan görüntünün parlaklık matrisi ile histogramının eşleştirilmesi;
- Histogramı eşleştirilmiş pan görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılıp, yaklaşık değerine tekrar dalgacık analizi yapılması;
- MS görüntünün iki boyutlu dalgacık analizinin yapılıp, yaklaşık değerine tekrar dalgacık analizi yapılması;
- MS görüntünün yaklaşık değerinin dalgacık analizinde yüksek frekansı ifade eden detay bilgilerinin pan görüntüdeki detay bilgiler ile toplanması;
- Dalgacık analizi yapılmış ve detay bilgisi değiştirilmiş veriye, iki defa ters dalgacık dönüşümü uygulanarak birleştirilmiş görüntünün elde edilmesi.

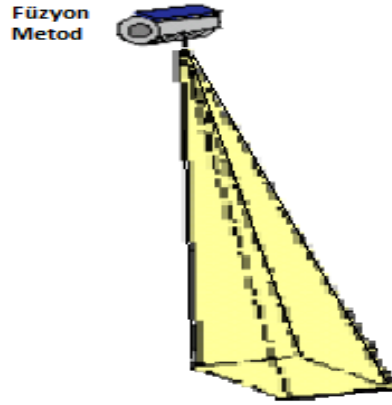


Şekil 3.8 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi II.

3.3 Görüntü Birleştirme Yöntemlerini Uygulama Tipleri

Pan görüntüden mekansal bilginin çıkartılıp, MS görüntüye eklenmesi işlemi gerçekleştirildikten sonra seçilen görüntü birleştirme yönteminin görüntüye uygulanması için 3 farklı yapı oluşturulmuştur. Bu yapılar ; global, blok ,pencere kaydırma yapılarıdır.

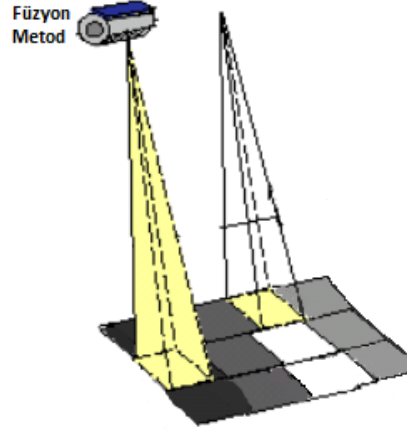
Global yapıda, görüntü birleştirme tekniği tek seferde görüntünün tamamına uygulanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Global Yapı.

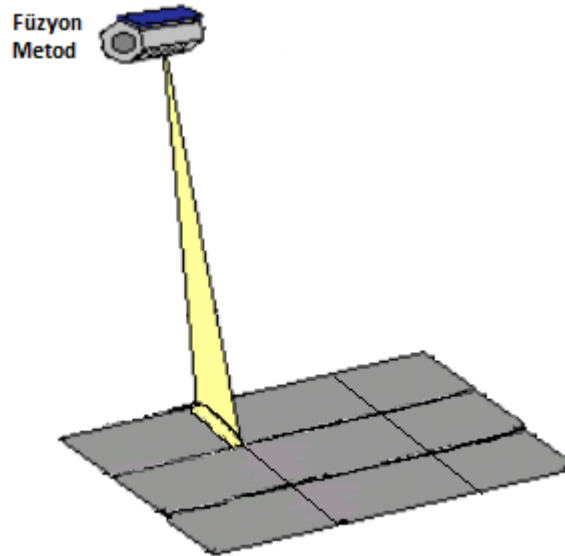
Blok yapıda, görüntüyü 2'nin katları olacak şekilde bloklara bölüp sonrasında görüntü birleştirme metodunu uyguluyoruz. Görüntümüz 1024 piksel olduğundan blok boyutu maksimum 2^9 değerini alabilir. Maksimum değer için örneklendirirsek; görüntümüzün boyutu 512 x 512 olacak şekilde 2 bloktan oluşur ve görüntü birleştirme metodunu her iki blok için ayrı ayrı uyguluyoruz.

Maksimum değeri aştığımızda görüntünün tüm boyutuna ulaşacağımızdan bu durumun global yapıya eşdeğer olması sebebiyle, maksimum değeri aşmayacak şekilde bölümlendirme yapıyoruz (Şekil 3.7).



Şekil 3.10 : Blok Yapı.

Pencere kaydırma yapısında, görüntüyü 2'nin katları olacak şekilde alt pencerelere bölüyoruz, sonrasında seçtiğimiz pencere için yine 2'nin katları olacak şekilde kaydırma miktarı belirleyip pencereyi görüntü üzerinde kaydırarak birleştirme metodunu uyguluyoruz (Şekil 3.8). Burada kaydırma miktarını seçerken pencere boyutu ile aynı olmamasına dikkat etmeliyiz eğer bu şekilde seçersek bu durum blok yapıya eşdeğer olduğundan gereksiz işlem yükü getirmiş olur.



Şekil 3.11 : Pencere Kaydırma Yapısı.

4. KALİTE DEĞERLENDİRME METRİKLERİ

Uydu görüntüsü birleştirme işlemleri sonucunda elde edilen görüntülerin kalitesinin, uluslararası standartlara sahip yöntemlere göre belirlenmesi, uygulanan modellerin karşılaştırılması açısından oldukça öneme sahiptir. Görüntü birleştirme topluluğu tarafından, karşılaştırma yapılabilmesi açısından standart olarak kabul görmüş yöntemlerden bazıları aşağıda incelenmiştir. Bu çalışmada edilen sonuçların yorumlanmasında kullanılan başlıca kalite metrikleri şu şekildedir:

4.1 Karesel Ortalama Hata (RMSE)

Karasel Ortalama Hata (Root Mean Square Error) yöntem 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.

$$RMSE_i = \frac{1}{r \times c} \sqrt{\sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c (MS_i - PSP_i)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

r: satır sayısı, c: sütun sayısı, MS_i: multispectral görüntü, PSP_i: Birleştirilmiş görüntü, 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.

4.2 Spektral Aç Eşleştirici (SAM)

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

$$SAM_i = \arccos \left(\frac{\langle MS_i, PSP_i \rangle}{MS_i, PSP_i} \right) \quad (4.2)$$

MS_i multispectral görüntü, PSP_i: Birleştirilmiş görüntü, 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.

4.3 Göreceli Ortalama Spektral Hata (RASE)

Ortalama Spektral Hata denklemi üzerinden yapılan iyileştirmelerle tanımlanmış RASE formülü şu şekildedir.

$$RASE = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(RMSE_i)^2}{\mu_{MS_i}}} \quad (4.3)$$

μ : beklenen değeri (MS bandının ortalaması), i:band sayısını, RMSE: ortalama karasel hatayı ifade etmektedir.

$$\mu_{MS_i} = \frac{1}{r \times c} \sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c MS_i(m, n) \quad (4.4)$$

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

4.4 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).

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(RMSE_i)^2}{(\mu_{MS_i})^2}} \quad (4.5)$$

h Pan görüntünün çözünürlüğünü, l MS görüntünün çözünürlüğünü, μ : beklenen değeri (MS bandın ortalamasını ifade etmektedir. ERGAS metriği için ideal değeri 0'dır. Hesaplama sonucu ne kadar büyük çıkarsa bozulma o kadar fazladır.

4.5 Uluslararası Görüntü Kalite Endeksi (UIQI)

İki scaler görüntü arasındaki benzerlikleri ifade eder. UIQI değer aralığı [-1,1] arasında olup ideal değeri 1'dir .

$$UIQI_i = \frac{4 \cdot \delta_{MS_i PSP_i} \cdot \mu_{MS_i} \cdot \mu_{PSP_i}}{(\delta_{MS_i}^2 + \delta_{PSP_i}^2)(\mu_{MS_i}^2 + \mu_{PSP_i}^2)} \quad (4.6)$$

$$\delta_{MS_i PSP_i} = \pi r^2 \quad (4.7)$$

$$\mu_{MS_i} = \frac{1}{rxc} \sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c MS_i(m, n) \quad (4.8)$$

$$\mu_{PSP_i} = \frac{1}{rxc} \sum_{m=1}^r \sum_{n=1}^c PSP_i(m, n) \quad (4.9)$$

h Pan görüntünün çözünürlüğünü, l MS görüntünün çözünürlüğünü, μ : beklenen değeri (MS bandın ortalamasını ifade etmektedir.

4.6 Referansız Kalite Metriği (QNR)

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

QNR, biri spektrumdaki 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.

UIQI vasıtasıyla gerçekleştirilen skaler görüntü çiftlerinin benzerlik ölçümleri yoluyla spektral ve mekansal bozulma hesaplanır.

Spektral bozulma D_l 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 matematiksel olarak şu şekilde temsil edilebilir:

$$D_{\lambda} = \frac{1}{N.(N-1)} \sum_{l,k=1}^N |UIQI(MS_l, MS_k) - (PSP_l, PSP_k)| \quad (4.10)$$

$$D_s = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |UIQI(MS_k, PAN_l) - (PSP_k, PAN)| \quad (4.11)$$

$$QNR = (1 - D_r)^{\alpha} . (1 - D_s)^{\beta} \quad (\alpha = \beta = 1) \quad (4.12)$$

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

5. SONUÇLAR

5.1 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen eşit boyutlardaki test verilerine sırası ile Brovey, IHS, PCA, Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi ve Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi uygulanarak sonuçlar 6 farklı kalite metriğine göre değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Bu çalışmada, bu alanda daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak her bir yöntem; birden fazla interpolasyon yöntemi ve histogram germe tekniği seçilerek global yapı, blok, pencere kaydırmalı olacak şekilde uygulanarak farklı sonuçlar elde edilmiş ve elde edilen kombinasyonlar farklı özelliklerdeki değerlendirme metriklerine göre yorumlanmıştır. Bu sayede literatürde yer alan eski ve yeni yöntemleri farklı kullanım amaçlarını karşılayabilecek bir geniş perspektife sahip veri altyapısı sağlanmış olmaktadır.

Elde edilen sonuçlara ve yorumlarına aşağıdaki tablolarda yer verilmiştir.

Brovey sonuçları;

Çizelge 5.1 : RMSE metriğine göre Brovey sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_bln	inHS	0,0233	0,0246	0,0230	0,0236
1024	1024	intp_bln	bdHS	0,0283	0,0266	0,0221	0,0257
1024	1024	intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719
128	128	intp_bln	inHS	0,0167	0,0186	0,0166	0,0173
128	128	intp_bln.	bdHS	0,0256	0,0219	0,0196	0,0224
128	128	intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719
512	256	imrsz_bln	inHS	0,0241	0,0245	0,0226	0,0237
512	256	imrsz_bln	bdHS	0,0299	0,0261	0,0215	0,0258
512	256	intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719

Çizelge 5.2 : SAM metriğine göre Brovey sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	intp_lin	inHS	0,2182	0,2338	0,219	0,2237
1024	1024	intp_lin	inHS	0,2182	0,2338	0,219	0,2237
1024	1024	intp_lin	bdHS	0,2658	0,2522	0,21	0,2427
128	128	intp_lin	inHS	0,1561	0,1769	0,1597	0,1643
128	128	intp_lin	bdHS	0,2227	0,206	0,187	0,2053
128	128	intp_lin	noHS	0,2307	0,2453	0,2289	0,235
512	256	imrsz_bln	inHS	0,2256	0,2335	0,2156	0,2249
512	256	intp_cub	noHS	0,2289	0,2452	0,2306	0,2349
512	256	imrsz_bln	bdHS	0,2794	0,2473	0,2054	0,244

Çizelge 5.3 : RASE metriğine göre Brovey sonuçları

Fusion Type	Upscale	HS ype	B1	B2	B3	AVG
global	2_intp_lin	inHS	0,0233	0,0246	0,023	0,0236
global	2_intp_lin	bdHS	0,0283	0,0266	0,0221	0,0257
global	1_intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719
block	2_intp_lin	inHS	0,0167	0,0186	0,0166	0,0173
block	2_intp_lin	bdHS	0,0256	0,0219	0,0196	0,0224
block	1_intp_ner	noHS	0,0743	0,0718	0,0698	0,0719

Çizelge 5.4 : ERGAS metriğine göre Brovey sonuçları

Fusion Type	Upscale	HS ype	AVG
global	2_intp_lin	inHS	0,0114
global	2_intp_lin	inHS	0,0124
global	2_intp_lin	bdHS	0,0346
block	2_intp_lin	inHS	0,0083
block	2_intp_lin	bdHS	0,0108
block	1_intp_ner	noHS	0,0346

Çizelge 5.5 : UIQI metriğine göre Brovey sonuçları

Fusion Type	Upscale	HS ype	B1	B2	B3	AVG
global	2_intp_lin	inHS	0,7416	0,6643	0,3857	0,5972
global	2_intp_lin	noHS	0,2317	0,244	0,1864	0,2207
global	2_intp_lin	noHS	0,2317	0,244	0,1864	0,2207
block	2_intp_lin	inHS	0,8814	0,8074	0,6407	0,7765
block	2_intp_lin	bdHS	0,8114	0,786	0,4686	0,6886
block	2_intp_lin	noHS	0,2317	0,244	0,1864	0,2207
slide	2_intp_lin	inHS	0,8807	0,8088	0,6454	0,7783
slide	1_intp_ner	bdHS	0,7605	0,7117	0,4152	0,6291
slide	2_intp_lin	noHS	0,2317	0,244	0,1864	0,2207

Çizelge 5.6 : QNR metriğine göre Brovey sonuçları

Fusion Type	Upscale	HS ype	AVG
global	1_intp_ner	inHS	0,8443
global	1_intp_ner	bdHS	0,7538
global	1_intp_ner	noHS	0,3042
block	2_intp_lin	inHS	0,9064
block	1_intp_ner	bdHS	0,7406
block	1_intp_ner	noHS	0,3042
slide	1_intp_ner	inHS	0,9034
slide	1_intp_ner	bdHS	0,7476
slide	1_intp_ner	noHS	0,3042

Çizelge 5.7 : Tüm Brovey sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	128	128	intp_bln	inHS	0,0173
SAM	128	128	intp_lin	inHS	0,1643
RASE	128	128	intp_lin	inHS	0,0173
ERGAS	128	128	intp_lin	bdHS	0,0108
UIQI	512	256	intp_lin	inHS	0,7783
QNR	128	128	intp_lin	inHS	0,9064

IHS sonuçları;**Çizelge 5.8 : RMSE metriğine göre IHS sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
4	1	intp_ner	inHS	0,0224	0,0229	0,0207	0,0220
4	1	intp_ner	bdHS	0,0303	0,0273	0,0211	0,0262
4	1	intp_ner	noHS	0,0716	0,0717	0,0711	0,0714
1024	1024	imrsz_bln	inHS	0,0242	0,0239	0,0220	0,0234
1024	1024	intp_lin	noHS	0,0714	0,0714	0,0710	0,0713
1024	1024	intp_bln	bdHS	0,0285	0,0258	0,0204	0,0249
4	4	imrsz_bln	inHS	0,0173	0,0178	0,0155	0,0169
4	4	intp_lin	noHS	0,0714	0,0714	0,0710	0,0713
4	4	imrsz_bln	bdHS	0,0247	0,0212	0,0177	0,0212

Çizelge 5.9 : SAM metriğine göre IHS sonuçları

Pencere Alanı	Kayıdırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
4	1	1_intp_ner	inHS	0,2087	0,2175	0,1988	0,2083
4	1	1_intp_ner	bdHS	0,2707	0,2564	0,2026	0,2432
4	1	1_intp_ner	noHS	0,3295	0,3489	0,3696	0,3493
1024	1024	6_intp_bln	inHS	0,2265	0,2277	0,2116	0,2219
1024	1024	6_intp_bln	noHS	0,3095	0,3284	0,3516	0,3298
1024	1024	6_intp_bln	bdHS	0,2662	0,2451	0,1966	0,2360
4	4	6_intp_bln	inHS	0,1618	0,1699	0,1493	0,1603
4	4	6_intp_bln	noHS	0,3095	0,3284	0,3516	0,3298
4	4	6_intp_bln	bdHS	0,2231	0,2012	0,1710	0,1985

Çizelge 5.10 : RASE metriğine göre IHS sonuçları

Pencere Alanı	Kayıdırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
4	2	6_intp_bln	bdHS	0,2014
4	1	1_intp_ner	inHS	0,2161
4	1	1_intp_ner	noHS	0,7006
1024	1024	6_intp_bln	inHS	0,2292
1024	1024	1_intp_ner	noHS	0,7006
1024	1024	1_intp_ner	bdHS	0,2604
4	4	2_intp_lin	noHS	0,6989
4	4	1_intp_ner	inHS	0,2001
4	4	1_intp_ner	bdHS	0,2427

Çizelge 5.11 : ERGAS metriğine göre IHS sonuçları

Pencere Alanı	Kayıdırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
4	2	6_intp_bln	inHS	0,0077
4	2	6_intp_bln	bdHS	0,0099
4	1	2_intp_lin	noHS	0,0343
1024	1024	6_intp_bln	inHS	0,0112
1024	1024	6_intp_bln	bdHS	0,0121
1024	1024	2_intp_lin	noHS	0,0343
4	4	6_intp_bln	inHS	0,0081
4	4	6_intp_bln	bdHS	0,0103
4	4	2_intp_lin	noHS	0,0343

Çizelge 5.12 : UIQI metriğine göre IHS sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
4	1	1_intp_ner	inHS	0,7989	0,7293	0,5213	0,6832
4	1	1_intp_ner	bdHS	0,7475	0,698	0,4447	0,6301
4	1	2_intp_lin	noHS	0,4099	0,3397	0,0506	0,2668
1024	1024	3_intp_cub	inHS	0,7271	0,6824	0,4106	0,6067
1024	1024	2_intp_lin	noHS	0,4099	0,3397	0,0506	0,2668
1024	1024	3_intp_cub	bdHS	0,6801	0,673	0,3452	0,5661
4	4	6_intp_bln	bdHS	0,819	0,7957	0,5437	0,7195
4	4	1_intp_ner	inHS	0,8326	0,7597	0,5581	0,7168
4	4	1_intp_ner	noHS	0,4052	0,3296	0,0516	0,2621

Çizelge 5.13 : QNR metriğine göre IHS sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
4	2	5_intp_ner	inHS	0,9037
512	1	5_intp_ner	bdHS	0,7816
4	1	6_intp_bln	noHS	0,1864
1024	1024	6_intp_bln	noHS	0,1864
1024	1024	1_intp_ner	bdHS	0,7855
1024	1024	1_intp_ner	inHS	0,8496
4	4	6_intp_bln	noHS	0,1864
4	4	1_intp_ner	inHS	0,9000
4	4	6_intp_bln	noHS	0,1864

Çizelge 5.14 : Tüm IHS sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	4	4	6_intp_bln	inHS	0,0169
SAM	4	4	6_intp_bln	inHS	0,1603
RASE	4	4	1_intp_ner	inHS	0,0173
ERGAS	4	2	6_intp_bln	inHS	0,0077
UIQI	4	4	6_intp_bln	bdHS	0,7195
QNR	4	2	5_intp_ner	inHS	0,9037

PCA sonuçları;**Çizelge 5.15 : RMSE göre PCA sonuçları**

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	2_intp_lin	noHS	0,0266	0,0168	0,014	0,0191
1024	1024	3_intp_cub	noHS	0,0266	0,0171	0,0143	0,0193
4	4	2_intp_lin	noHS	0,0132	0,0131	0,0109	0,0124
8	8	2_intp_lin	noHS	0,0151	0,013	0,0096	0,0126
4	2	2_intp_lin	noHS	0,0132	0,013	0,0107	0,0123
4	2	2_intp_lin	inHS	0,0132	0,013	0,0107	0,0123

Çizelge 5.16 : SAM göre PCA sonuçları

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

Çizelge 5.17 : RASE göre PCA sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	2_intp_lin	noHS	0,1950
1024	1024	2_intp_lin	inHS	0,1950
4	4	2_intp_lin	noHS	0,1224
4	4	2_intp_lin	inHS	0,1224
4	2	2_intp_lin	noHS	0,1212
4	2	2_intp_lin	inHS	0,1212

Çizelge 5.18 : ERGAS göre PCA sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	2_intp_lin	noHS	0,0096
1024	1024	3_intp_cub	noHS	0,0096
4	4	2_intp_lin	noHS	0,0060
8	8	2_intp_lin	noHS	0,0060
4	2	2_intp_lin	noHS	0,0059
4	2	2_intp_lin	inHS	0,0059

Çizelge 5.19 : UIQI göre PCA sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
1024	1024	3_intp_cub	noHS	0,5717	0,8696	0,7862	0,7425
1024	1024	3_intp_cub	inHS	0,5717	0,8696	0,7862	0,7425
8	8	2_intp_lin	noHS	0,9005	0,9052	0,8671	0,8910
8	8	2_intp_lin	inHS	0,9005	0,9052	0,8671	0,8910
4	2	2_intp_lin	noHS	0,9266	0,9056	0,8445	0,8922
4	2	2_intp_lin	inHS	0,9266	0,9056	0,8444	0,8922

Çizelge 5.20 : QNR göre PCA sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	1_intp_ner	noHS	0,8072
1024	1024	1_intp_ner	inHS	0,8072
8	8	5_imrs_ner	noHS	0,9764
8	8	5_imrs_ner	inHS	0,9764
4	1	7_imrs_bcb	noHS	0,9786
4	1	8_imrs_lc2	noHS	0,9786

Çizelge 5.21 : Tüm PCA sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	4	2	2_intp_lin	noHS	0,0123
SAM	4	2	2_intp_lin	noHS	0,1166
RASE	4	2	2_intp_lin	noHS	0,1212
ERGAS	4	2	2_intp_lin	noHS	0,0059
UIQI	4	2	2_intp_lin	noHS	0,8922
QNR	4	1	7_imrs_bcb	noHS	0,9786

Dalgacık dönüşümü değişim I sonuçları;

Dalgacık dönüşümü değişim I yönteminde 8’lik pencere ile 1 kaydırmalı nearest interpolasyon ile, histogram eşitleme uygulanmadığı durum en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca ERGAS metriğine göre kaydırmalı yapıda 1 kaydırma ile kübik interpolasyon histogram eşitleme uygulanmadan kullanıldığında elde edilen sonuç lineer interpolasyonla elde edilen sonuca çok yakın çıkmıştır.

Çizelge 5.22 : RMSE göre WAWSUB1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	1	5_intp_ner	noHS	0,0118	0,0133	0,0098	0,0116
16	1	5_intp_ner	noHS	0,0118	0,0133	0,0098	0,0116
8	1	6_intp_bln	inHS	0,0147	0,0158	0,0126	0,0144
16	1	6_intp_bln	inHS	0,0151	0,0162	0,0130	0,0147
8	1	6_intp_bln	bdHS	0,0164	0,0168	0,0113	0,0148
16	1	6_intp_bln	bdHS	0,0173	0,0173	0,0114	0,0153

Çizelge 5.23 : SAM göre WAWSUB1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	1	5_intp_ner	noHS	0,1129	0,1196	0,0924	0,1083
16	1	5_intp_ner	noHS	0,1133	0,1199	0,0926	0,1086
8	1	6_intp_bln	inHS	0,1405	0,1423	0,1181	0,1337
16	1	6_intp_bln	inHS	0,1441	0,1452	0,1213	0,1369
8	1	6_intp_bln	bdHS	0,1559	0,1512	0,1063	0,1378
16	1	6_intp_bln	bdHS	0,1646	0,1552	0,1074	0,1424

Çizelge 5.24 : RASE göre WAWSUB1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
8	1	5_intp_ner	noHS	0,1134
16	1	5_intp_ner	noHS	0,1137
8	1	6_intp_bln	inHS	0,1400
16	1	6_intp_bln	inHS	0,1433
8	1	6_intp_bln	bdHS	0,1460
16	1	6_intp_bln	bdHS	0,1512

Çizelge 5.25 : ERGAS göre WAWSUB1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
8	1	5_intp_ner	noHS	0,0055
16	1	5_intp_ner	noHS	0,0055
8	1	6_intp_bln	inHS	0,0068
16	1	6_intp_bln	inHS	0,0069
8	1	6_intp_bln	bdHS	0,0071
16	1	6_intp_bln	bdHS	0,0073

Çizelge 5.26 : UIQI göre WAWSUB1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	1	5_intp_ner	noHS	0,9471	0,9059	0,8598	0,9043
16	1	5_intp_ner	noHS	0,9468	0,9055	0,8594	0,9039
8	1	6_intp_bln	inHS	0,9166	0,8646	0,7773	0,8528
16	1	6_intp_bln	inHS	0,9124	0,8593	0,7663	0,8460
8	1	6_intp_bln	bdHS	0,8991	0,8500	0,8117	0,8536
16	1	6_intp_bln	bdHS	0,8885	0,8427	0,8071	0,8461

Çizelge 5.27 : QNR göre WAWSUB1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,9696
8	8	5_intp_ner	noHS	0,9696
8	8	5_intp_ner	inHS	0,9257
8	4	5_intp_ner	inHS	0,9244
8	8	5_intp_ner	bdHS	0,9329
8	4	5_intp_ner	bdHS	0,9314

Çizelge 5.28 : Tüm WAWSUB1 sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	8	1	5_intp_ner	noHS	0,0116
SAM	8	1	5_intp_ner	noHS	0,1083
RASE	8	1	5_intp_ner	noHS	0,1134
ERGAS	8	1	5_intp_ner	noHS	0,0055
ERGAS	8	1	7_intp_bcb	noHS	0,0056
UIQI	8	1	5_intp_ner	noHS	0,9043
QNR	1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,9696

Dalgacık dönüşümü değişim II sonuçları;

Dalgacık dönüşümü değişim II yönteminde 8'lik pencere ile 2 kaydırmalı nearest interpolasyon ile, histogram eşitleme uygulanmadığı durum en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca ERGAS metriğine göre 8'lik pencere ile 2 kaydırma ile bilineer interpolasyon histogram eşitleme uygulanmadan kullanıldığında elde edilen sonuç nearest interpolasyonla elde edilen sonuca çok yakın çıkmıştır.

Çizelge 5.29 : RMSE göre WAWSUBII sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	2	5_intp_ner	noHS	0,0167	0,0174	0,0124	0,0155
16	2	5_intp_ner	noHS	0,0167	0,0174	0,0124	0,0155
8	2	6_intp_bln	inHS	0,0191	0,0195	0,0152	0,0179
16	2	6_intp_bln	inHS	0,0196	0,02	0,0158	0,0185
8	2	6_intp_bln	bdHS	0,0209	0,0207	0,0136	0,0184
8	8	6_intp_bln	bdHS	0,0219	0,0213	0,0139	0,0191

Çizelge 5.30 : SAM göre WAWSUBII sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	2	5_intp_ner	noHS	0,1592	0,1563	0,1161	0,1439
16	2	5_intp_ner	noHS	0,1593	0,1564	0,1162	0,1440
8	2	6_intp_bln	inHS	0,1817	0,1750	0,1419	0,1662
16	2	6_intp_bln	inHS	0,1869	0,1794	0,1473	0,1712
8	2	6_intp_bln	bdHS	0,1992	0,1855	0,1276	0,1708
8	8	6_intp_bln	bdHS	0,2088	0,1918	0,1306	0,1771

Çizelge 5.31 : RASE göre WAWSUBII sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
8	2	5_intp_ner	noHS	0,1517
16	2	5_intp_ner	noHS	0,1517
8	2	6_intp_bln	inHS	0,1747
16	2	6_intp_bln	inHS	0,1799
8	2	6_intp_bln	bdHS	0,1818
8	8	6_intp_bln	bdHS	0,1885

Çizelge 5.32 : ERGAS göre WAWSUBII sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
8	2	5_intp_ner	noHS	0,0074
16	2	5_intp_ner	noHS	0,0074
8	2	6_intp_bln	inHS	0,0085
16	2	6_intp_bln	inHS	0,0087
8	2	6_intp_bln	bdHS	0,0088
8	8	6_intp_bln	bdHS	0,0092

Çizelge 5.33 : UIQI göre WAWSUBII sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	2	5_intp_ner	noHS	0,8898	0,83	0,7651	0,8283
16	2	5_intp_ner	noHS	0,8897	0,8299	0,7649	0,8282
8	2	6_intp_bln	inHS	0,8581	0,7921	0,6817	0,7773
16	2	6_intp_bln	inHS	0,8509	0,7831	0,6632	0,7657
8	2	6_intp_bln	bdHS	0,8343	0,7729	0,7251	0,7774
16	2	6_intp_bln	bdHS	0,8182	0,761	0,7146	0,7646

Çizelge 5.34 : QNR göre WAWSUBII sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,8852
8	8	5_intp_ner	noHS	0,8852
8	8	6_intp_bln	inHS	0,8553
8	4	6_intp_bln	inHS	0,8537
8	8	6_intp_bln	bdHS	0,862
8	4	6_intp_bln	bdHS	0,86

Çizelge 5.35 : Tüm WAWSUBII sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	8	2	5_intp_ner	noHS	0,0155
SAM	8	2	5_intp_ner	noHS	0,1439
RASE	8	2	5_intp_ner	noHS	0,1517
ERGAS	8	2	5_intp_ner	noHS	0,0074
ERGAS	8	2	6_intp_bln	noHS	0,0074
UIQI	8	2	5_intp_ner	noHS	0,8283
QNR	1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,8852

Dalgacık dönüşümü toplama I sonuçları;

Dalgacık dönüşümü toplama I yönteminde, tüm metrikler karşılaştırıldığında en iyi sonucu ERGAS metriğine göre, 8’lik pencere 1 kaydırma ile lineer interpolasyon histogram eşitleme uygulanmadan kullanıldığında elde edilmiştir. Ayrıca ERGAS metriğine göre kaydırmalı yapıda 8’lik pencere 1 kaydırma ile kübik interpolasyon histogram eşitleme uygulanmadan kullanıldığında elde edilen sonuç lineer interpolasyonla elde edilen sonuçla aynı çıkmıştır.

Çizelge 5.36 : RMSE göre WAWADD1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	1	2_intp_lin	noHS	0,0118	0,0133	0,0098	0,0116
16	1	2_intp_lin	noHS	0,0118	0,0133	0,0098	0,0116
8	8	2_intp_lin	inHS	0,0144	0,0158	0,0129	0,0144
8	1	2_intp_lin	inHS	0,0146	0,0158	0,0132	0,0145
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,0132	0,013	0,0107	0,0123
8	4	2_intp_lin	bdHS	0,0163	0,0172	0,0116	0,015

Çizelge 5.37 : SAM göre WAWADD1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
256	1	2_intp_lin	noHS	0,1124	0,1191	0,092	0,1078
64	1	2_intp_lin	noHS	0,1126	0,1192	0,0922	0,1080
8	8	2_intp_lin	inHS	0,1376	0,1419	0,121	0,1335
8	4	2_intp_lin	inHS	0,1386	0,1428	0,1221	0,1345
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,1543	0,1531	0,1079	0,1384
8	4	2_intp_lin	bdHS	0,1554	0,1542	0,1087	0,1394

Çizelge 5.38 : RASE göre WAWADD1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
256	1	2_intp_lin	noHS	0,1129
128	1	2_intp_lin	noHS	0,1130
8	8	2_intp_lin	inHS	0,1397
8	4	2_intp_lin	inHS	0,1408
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,1467
8	4	2_intp_lin	bdHS	0,1478

Çizelge 5.39 : ERGAS göre WAWADD1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
8	1	2_intp_lin	noHS	0,0055
16	1	2_intp_lin	noHS	0,0055
8	8	2_intp_lin	inHS	0,0068
8	1	2_intp_lin	inHS	0,0068
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,0071
8	1	2_intp_lin	bdHS	0,0072

Çizelge 5.40 : UIQI göre WAWADD1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
256	1	3_intp_cub	noHS	0,9496	0,9066	0,8595	0,9052
256	1	2_intp_lin	noHS	0,9476	0,9066	0,8609	0,9050
8	1	2_intp_lin	inHS	0,9216	0,8728	0,7766	0,8570
8	8	2_intp_lin	inHS	0,9225	0,8711	0,7755	0,8564
8	1	2_intp_lin	bdHS	0,9013	0,8544	0,8172	0,8576
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,9039	0,8526	0,8144	0,8570

Çizelge 5.41 : QNR göre WAWADD1 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,9696
8	8	5_intp_ner	noHS	0,9696
8	8	5_intp_ner	inHS	0,9257
8	4	5_intp_ner	inHS	0,9244
8	8	5_intp_ner	bdHS	0,9329
8	4	5_intp_ner	bdHS	0,9314

Çizelge 5.42 : Tüm WAWADD1 sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	8	1	2_intp_lin	noHS	0,0116
SAM	256	1	2_intp_lin	noHS	0,1078
RASE	256	1	2_intp_lin	noHS	0,1129
ERGAS	8	1	3_intp_cub	noHS	0,0055
ERGAS	8	1	2_intp_lin	noHS	0,0055
UIQI	256	1	3_intp_cub	noHS	0,9052
QNR	1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,9696

Dalgacık dönüşümü toplama II sonuçları;

Dalgacık dönüşümü toplama II yönteminde tüm metrikler karşılaştırıldığında en iyi sonucu ERGAS metriğine göre, global yapı ile lineer interpolasyon histogram eşitleme uygulanmadan kullanıldığında elde edilmiştir.

Çizelge 5.43 : RMSE göre WAWADD2 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
8	2	2_intp_lin	noHS	0,0124	0,0138	0,0105	0,0122
16	2	2_intp_lin	noHS	0,0124	0,0138	0,0105	0,0122
8	8	2_intp_lin	inHS	0,0160	0,0172	0,0147	0,0160
8	4	2_intp_lin	inHS	0,0162	0,0174	0,0149	0,0162
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,0205	0,0206	0,0137	0,0183
8	4	2_intp_lin	bdHS	0,0207	0,0207	0,0138	0,0184

Çizelge 5.44 : SAM göre WAWADD2 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
128	2	2_intp_lin	noHS	0,1185	0,1245	0,0989	0,1139
256	2	2_intp_lin	noHS	0,1184	0,1244	0,0988	0,1139
8	8	2_intp_lin	inHS	0,1525	0,1543	0,1371	0,1480
8	4	2_intp_lin	inHS	0,1542	0,1557	0,1389	0,1496
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,1947	0,1842	0,1280	0,1690
8	4	2_intp_lin	bdHS	0,1958	0,1853	0,1290	0,1700

Çizelge 5.45 : RASE göre WAWADD2 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
256	2	2_intp_lin	noHS	0,1192
512	2	2_intp_lin	noHS	0,1192
8	8	2_intp_lin	inHS	0,1550
8	4	2_intp_lin	inHS	0,1568
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,1801
8	4	2_intp_lin	bdHS	0,1813

Çizelge 5.46 : ERGAS göre WAWADD2 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	2_intp_lin	noHS	0,0058
8	8	2_intp_lin	noHS	0,0058
8	8	2_intp_lin	inHS	0,0075
8	4	2_intp_lin	inHS	0,0076
8	8	2_intp_lin	bdHS	0,0087
8	4	2_intp_lin	bdHS	0,0088

Çizelge 5.47 : UIQI göre WAWADD2 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	B1	B2	B3	AVG
256	2	3_intp_cub	noHS	0,9442	0,8992	0,8416	0,8950
128	2	3_intp_cub	noHS	0,9441	0,8991	0,8415	0,8949
8	8	2_intp_lin	inHS	0,9063	0,8516	0,7304	0,8294
8	2	2_intp_lin	inHS	0,9035	0,8494	0,7271	0,8266
8	1	2_intp_lin	bdHS	0,8483	0,7985	0,7528	0,7999
8	2	2_intp_lin	bdHS	0,8524	0,7965	0,7493	0,7994

Çizelge 5.48 : QNR göre WAWADD2 sonuçları

Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlan.	Histog. Tipi	AVG
1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,9483
8	8	5_intp_ner	noHS	0,9483
8	8	5_intp_ner	inHS	0,8890
8	8	9_intp_lc3	inHS	0,8882
8	2	5_intp_ner	bdHS	0,9099
8	2	9_intp_lc3	bdHS	0,9062

Çizelge 5.49 : Tüm WAWADD2 sonuçları

Kalite Metriği	Pencere Alanı	Kaydırma Adımı	Yeniden Boyutlandırma	Histogram Tipi	AVG
RMSE	8	2	2_intp_lin	noHS	0,0122
SAM	128	2	2_intp_lin	noHS	0,1139
RASE	256	2	2_intp_lin	noHS	0,1192
ERGAS	1024	1024	2_intp_lin	noHS	0,0058
UIQI	256	2	3_intp_cub	noHS	0,8950
QNR	1024	1024	5_intp_ner	noHS	0,9483

16 GB RAM, 2.29 Ghz, 8 Çekirdek Intel Core İşlemcili Windows sanal sunucularda, yöntemlerin hesaplama süreleri aşağıda verilmiştir.

Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi I: 19.06.2016-09.09.2017

Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi II: 19.06.2016-16.10.2017

Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi I: 19.06.2016-12.09.2017

Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi II: 19.06.2016-22.10.2017

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada anlatılan görüntü birleştirme yöntemleri altı farklı görüntü değerlendirme metriğine göre değerlendirilmiştir. Hesaplama yöntemlerinin birleştirme kalitesi SAM, RMSE, RASE, ERGAS, UIQI, QNR yöntemlerine göre hesaplanmış olup UIQI, QNR haricinde bu denklemlerde en düşük sonucu veren yöntem en iyi olarak ifade edilmektedir. UIQI, QNR da ise en yüksek sonucu veren yöntem en iyi olarak ifade edilmiştir. İdeal değeri 0 olan metrikler içerisinde ERGAS daha iyi sonuçlar verirken, ideal değeri 1 olan metrikler arasında QNR daha iyi sonuçlar vermektedir.

Buna göre genel değerlendirmede en iyi sonucu “dalgacık dönüşümü değişim yöntemi I” vermiştir. Birinci seviyede uygulanan dalgacık dönüşümü yöntemleri birbirine yakın değerler üretirken, uygulanan dalgacık dönüşüm seviyesi arttıkça kalite metrikleri sonuçları arasındaki fark da artmaktadır. Dalgacık dönüşümü analizinde histogram germe uygulamadan yapılan görüntü birleştirmelerinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gelişen uydu teknolojisine paralel olarak görüntü birleştirme topluluğunun, bugüne kadar geliştirmiş olduğu yöntemler daha yüksek çözünürlük seviyesinde aynı başarıyı sağlayamayabilir. Landsat uydusu üzerinde ilk olarak geliştirilmiş Brovey yönteminden günümüz uyduları üzerinde uygulanan dalgacık dönüşümü yöntemine doğru olumlu bir gelişim sergilenmiş olup bu yeni uydular için de güncel yöntemlerin aynı başarıyı sağlayamaması beklenmektedir. Bunun için de yöntemler içerisinde ek özellik geliştirme çalışmaları ve değişik yöntem arayışları halen süregelmektedir.

Çalışmayla ilgili karşılaşılan sorunlardan en önemlisi performans sorunudur. Uydu görüntülerinin megapiksel seviyesinde çok yüksek boyutlara sahip olması nedeniyle 32/64bit mimari üzerinde çalışan programlarla yapılan görüntü işleme süreleri oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Bu nedenle yöntemlerin daha hızlı gerçekleştirilmesi için çalışmaların Yüksek Başarımli Hesaplama (HPC) sistemleri üzerinde bilgisayar kümeleri, ekran kartı programlama, (RivaTuner,PowerStrip vb.) veya çoklu-çekirdek işlemcili sunucular üzerinden parallel programlama yöntemleri kullanılarak performans arttırılması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Akoğuz, A.,** (2013). Uzaktan Algılamada Görüntü Birleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- 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).
- F. F. Kuo, J. F. Kaiser, 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., L. Wald, M. Mangolini,** (1996). “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.** (1999). “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.** (1999). "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.

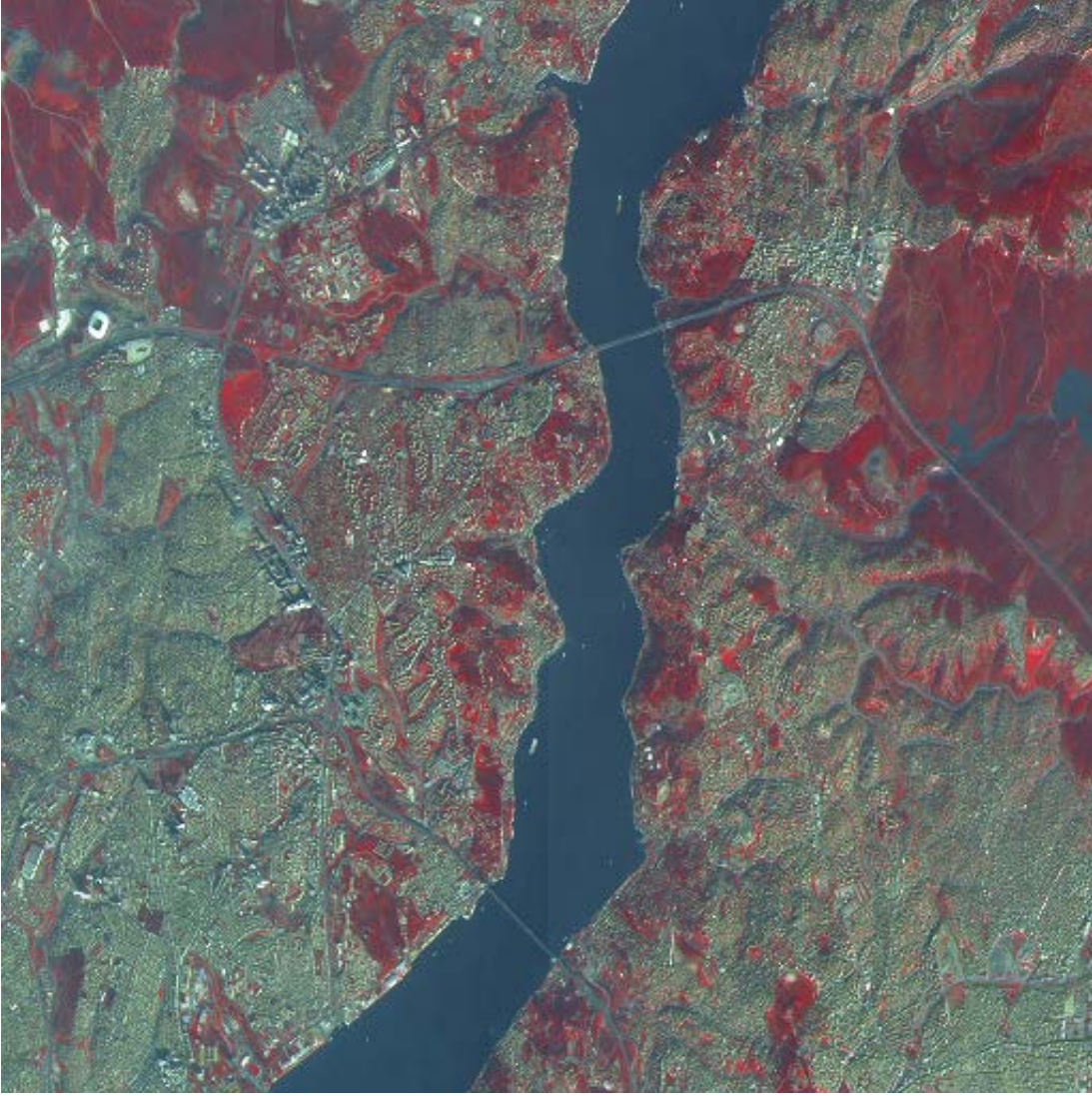
EKLER

EK A : Birleřtirilen Görüntüler

EK A



Şekil A.1 : Brovey yöntemi ile birleştirilmiş en iyi görüntü



Şekil A.2 : IHS yöntemi ile birleştirilmiş en iyi görüntü



Şekil A.3 : PCA yöntemi ile birleştirilmiş en iyi görüntü



Şekil A.4 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi I ile birleştirilmiş en iyi görüntü



Şekil A.5 : Dalgacık dönüşümü değişim yöntemi II ile birleştirilmiş en iyi görüntü



Şekil A.6 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi I ile birleştirilmiş en iyi görüntü



Şekil A.7 : Dalgacık dönüşümü toplama yöntemi II ile birleştirilmiş en iyi görüntü

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Selma Alioğlu

Doğum Tarihi ve Yeri: 1985, İstanbul

E-posta : selmaalioglu@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Turkcell Teknoloji Araştırma ve Geliştirme, Sistem Analisti (2015-)
- TTNET Aş. Test Analist (2013-2015)
- Yapı Kredi Bank Aş. Test Mühendisi, (2011-2013)