

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**FARKLI UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ İLE
YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜK OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ**

704785

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Kaan ERŞAHİN
(504991040)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Bingül YAZGAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet H. KAYRAN
Yrd.Doç.Dr. Ünal KÜÇÜK (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2001

104185

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında yardımlarıyla bana her zaman destek olan değerli hocam sayın Prof.Dr. Bingöl YAZGAN'a, aileme ve tüm çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2001

Kaan ERŞAHİN



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL PRENSİPLER	5
2.1. Uydu Sistemleri ve Görüntülerinin Özellikleri	5
2.1.1. SPOT	5
2.1.2. LANDSAT	7
2.1.3. IRS	8
2.2. Uydu Görüntülerinin Çakıştırılması	9
2.3. Renk Gösterilimleri	12
2.3.1. RGB - IHS koordinat dönüşümü	13
2.3.2. IHS - RGB koordinat dönüşümü	14
2.4. Histogram Uyumlaştırma	15
3. WAVELET DÖNÜŞÜMÜ VE ÇOK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ ANALİZ	18
3.1. Sürekli Wavelet Dönüşümü (CWT)	18
3.1.1. Sürekli wavelet dönüşümünün özellikleri	19
3.2. Ayrık Wavelet Dönüşümü	22
3.2.1. Çok çözünürlüklü analiz	22
3.2.2. Laplace piramit algoritması	25
3.2.3. "À trous" algoritması	27
4. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME ALGORİTMALARI VE UYGULAMASI	30
4.1. IHS Dönüşüm Yöntemi	30

4.2. Wavelet Dönüşüm Yöntemleri	32
4.2.1. RGB bileşenlerinde yerdeğiştirme yöntemi (WRGB)	33
4.2.2. RGB bileşenlerinde toplamsal yöntem (AWRGB)	34
4.2.3. Parlaklık bileşeninde yerdeğiştirme yöntemi (WI)	36
4.2.4. Parlaklık bileşeninde toplamsal yöntem (AWI)	37
4.3. Uygulama ve Değerlendirme	38
4.3.1. Düşük çözünürlükte görüntü birleştirme ve başarımların değerlendirilmesi	39
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54



KISALTMALAR

HRV	: High Resolution Visible
TM	: Thematic Mapper
MSS	: Multi Spectral Scanner
LISS	: Linear Imaging Self-scanning Sensor
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer
WiFS	: Wide Field Sensor
PAN	: Panchromatic
XS	: Multispectral
GPS	: Global Positioning System
GCP	: Ground Control Points
IHS	: Intensity Hue Saturation
RGB	: Red Green Blue
CWT	: Continuous Wavelet Transform
WRGB	: Wavelet RGB
AWRGB	: Additive Wavelet RGB
WI	: Wavelet Intensity
AWI	: Additive Wavelet Intensity

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. SPOT uydu sisteminin özellikleri	6
Tablo 2.2. Landsat uydu sistemi özellikleri	7
Tablo 2.3. IRS uydu sistemi özellikleri.....	8
Tablo 4.1. Washington Landsat-TM ve SPOT-P için korelasyon katsayıları ..	41
Tablo 4.2. Washington SPOT-XS ve SPOT-P için korelasyon katsayıları	42
Tablo 4.3. Havaalanı Landsat-TM ve SPOT-P için korelasyon katsayıları	45
Tablo 4.4. Havaalanı SPOT-XS ve SPOT-P için korelasyon katsayıları	45
Tablo 4.5. Havaalanı SPOT-XS ve IRS-P için korelasyon katsayıları	48



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. : SPOT uydu sisteminin özellikleri	6
Şekil 2.2. : Landsat uydusunun TM ve MSS görüntüleme sistemleri.....	7
Şekil 2.3. : Görüntü Çakıştırma (Referans ve giriş görüntüleri)	11
Şekil 2.4. : Görüntü Çakıştırma (Önizleme ve birbirlerine göre konumları)..	11
Şekil 2.5. : Dikdörtgen renk uzayı	12
Şekil 2.6. : Renk dairesi ve Silindirik renk uzayı	13
Şekil 2.7. : Renk uzayında x,y düzlemi	14
Şekil 2.8. : Noktasal operatörün histogram üzerindeki etkisi	15
Şekil 2.9. : Histogram eşitleme ve uyumlaştırma	17
Şekil 3.1. : Zamanda yerelleştirme	20
Şekil 3.2. : Sinc wavelet için sürekli wavelet dön. frekans yerelleştirmesi....	21
Şekil 3.3. : Çok çözünürlüklü analiz için filtre bankaları	23
Şekil 3.4. : Bir görüntünün wavelet dönüşümü.....	25
Şekil 3.5. : Laplace Piramit algoritmasında ayrıştırma	25
Şekil 3.6. : Laplace Piramit algoritmasında yeniden oluşturma	26
Şekil 3.7. : İki boyutta piramit yapısı	26
Şekil 3.8. : "À trous" algoritması ile ayrıştırma	27
Şekil 3.9. : B-3 Spline	29
Şekil 4.1. : IHS dönüşüm yöntemi ile görüntü birleştirme	31
Şekil 4.2. : WRGB yönteminin blok şeması	34
Şekil 4.3. : AWRGB yönteminin blok şeması	35
Şekil 4.4. : WI yönteminin blok şeması	36
Şekil 4.5. : AWI yönteminin blok şeması	37
Şekil 4.6. : Washington SPOT-P & Landsat-TM	40
Şekil 4.7. : Washington SPOT-P & Landsat-TM	41
Şekil 4.8. : Washington SPOT-P & SPOT-XS	43
Şekil 4.9. : Washington SPOT-P & SPOT-XS	44
Şekil 4.10. : İstanbul Havaalanı SPOT-P & Landsat-TM	46
Şekil 4.11. : İstanbul Havaalanı SPOT-P & SPOT-XS	47
Şekil 4.12. : İstanbul Havaalanı IRS-P & SPOT-XS	48
Şekil 5.1. : Washington görüntüsünde yöntemlerin başarımı	50
Şekil 5.2. : İstanbul Havaalanı görüntüsünde yöntemlerin başarımı	51

SEMBOL LİSTESİ

ϕ	: Ölçekleme fonksiyonu
ψ	: Wavelet
p	: p orijinal görüntüsü
p_r	: p nin residü görüntüsü
w_j	: j 'inci wavelet düzlemi
n	: Wavelet ayrıştırma adım sayısı
k	: Alt örnekleme katsayısı
R,G,B	: Çok bandlı görüntünün spektral bandları
R_r,G_r,B_r	: R,G,B için residü görüntüler
w_{R1}, w_{G1}, w_{B1}	: R,G,B için wavelet düzlemleri
R_n,G_n,B_n	: Birleştirme işlemi sonucunda R,G,B nin aldığı yeni değerler
I_r	: I parlaklık bileşeni için residü görüntüler
w_{I1}	: I parlaklık bileşeni için wavelet düzlemleri
I_n	: Birleştirme işlemi sonunda I nin aldığı yeni değer

FARKLI UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ İLE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜK OLUŞTURMA YÖNTEMLERİ

ÖZET

Uydularla uzaktan algılamanın kullanım alanı ve uygulamaları son yıllarda, uydu ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak hızlı biçimde değişmiştir. Günümüz algılama sistemleri, yüksek çözünürlüklü görüntüleme yeteneğine sahiptirler, ancak bu sistemlerde dahi sistemin kendisinden kaynaklanan sınırlamalar mevcuttur. Konumsal çözünürlüğü yüksek olan veriler tek bandlı iken, spektral çözünürlüğü yüksek olan çok bandlı veriler ise konumda düşük çözünürlüğe sahiptir. Bir cisim veya bölgenin tanımlanması, özelliklerinin belirlenmesi için her iki çözünürlüğün de yüksek olması istenir. Bu sebeple farklı algılayıcılardan elde edilmiş farklı özellikleri içeren verilerin birlikte kullanılması ihtiyacı vardır. Bu ihtiyaç, konumsal çözünürlüğü yüksek görüntülerle, spektral çözünürlüğü yüksek görüntülerin birleştirilmesi problemini ortaya çıkarmıştır. Burada amaç, aynı bölgeye ait farklı görüntülerin özelliklerini birleştirip, hem konumsal hem de spektral çözünürlüğü yüksek görüntüler elde etmektir.

Bu çalışmada hedeflenen, görüntü birleştirme problemine getirilmiş olan bazı çözümlerin incelenmesi, bu yöntemlerin farklı algılayıcı sistemlerden elde edilmiş görüntülere ve farklı çalışma alanlarına uygulanması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile yöntemler arasında karşılaştırma yapılmasıdır. Bu amaçla, iki ayrı çalışma bölgesinde SPOT, Landsat ve IRS uydularıyla elde edilmiş pankromatik ve çok bandlı görüntüler kullanılmıştır.

Görüntü birleştirme algoritmalarındaki ilk adım, farklı sistemlerden elde edilen dolayısıyla farklı zaman ve geometriye sahip görüntülerin, örtüşen bölgelerinin piksel düzeyinde birbirleri ile çakıştırılmasıdır. Biri referans, diğeri giriş görüntüsü olmak üzere her iki görüntüde de yer kontrol noktaları (GCP) seçilerek oluşturulan konumsal dönüşüm modeli, giriş görüntüsüne uygulanarak çakıştırma işlemi gerçekleştirilir. Burada seçilen kontrol noktalarının doğruluğu, birleştirme yöntemlerinin başarımında önemli etkiye sahiptir.

Geometrik olarak çakıştırılmış görüntüler üzerinde ilk olarak standart birleştirme yöntemi olarak kabul edilen IHS dönüşüm yöntemi incelenmiştir. Bu yöntemde, çok bandlı görüntülerin ifade edildiği RGB renk uzayından IHS renk uzayına dönüşüm yapılmakta ve yüksek çözünürlüklü tek bandlı görüntü, I bileşenin yerine konmaktadır. Ters dönüşüm sonucunda yüksek çözünürlük elde edilir, ancak spektral özellikler de bozulmuş olur. Bu, uzaktan algılama uygulamaları için istenmeyen bir durumdur. Bu problemin çözümü için önerilmiş olan diğer yöntemler wavelet dönüşümüne dayanmaktadır. Amaç, görüntüyü düşük çözünürlüklü bir alt görüntü ve yüksek çözünürlük bilgisini taşıyan detay işaretlerine ayırmaktır. Böylece yüksek çözünürlüklü görüntüdeki bilginin, düşük çözünürlüklü görüntüye aktarılması mümkün olacaktır. Burada kullanılan wavelet dönüşümü "à trous" algoritması olarak bilinen yöntemdir. Yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntünün detay bilgisini

içeren ilk wavelet katsayıları, çok bandlı görüntüye iki şekilde aktarılabilir. İlki çok bandlı görüntünün wavelet katsayıları ile yer değiştirme yöntemi, ikincisi ise doğrudan toplama yöntemidir. Her iki yöntem de RGB veya I, parlaklık bileşenine uygulanabilir, böylece dört farklı yöntem ortaya çıkmaktadır.

Bu yöntemlerin başarımların belirlenmesi için, oluşturulan yüksek çözünürlüklü görüntünün, aynı çözünürlüğe sahip gerçek görüntü ile karşılaştırılması gereklidir. Ancak problemin tanımı gereği, bu çözünürlükte çok bandlı veriler mevcut olmadığı için, karşılaştırma yapmanın tek yolu öncelikle mevcut verilerin çözünürlüğünü düşürmek, ardından bu görüntüleri kullanarak birleştirme yöntemlerini uygulamak ve gerçek görüntü ile karşılaştırmaktır. Karşılaştırma her band için korelasyon katsayısı hesaplanarak yapılır.

İki ayrı çalışma bölgesinden alınan toplam beş görüntü çifti için yöntemler uygulanıp sonuçlar elde edildiğinde, wavelet dönüşümüne dayalı yöntemlerin IHS yöntemine göre daha yüksek korelasyon değerleri verdiği, dolayısıyla bu yöntemlerin spektral özellikleri daha iyi koruduğu belirlenmiştir. Bu yöntemler arasında bir karşılaştırma yapıldığında, pankromatik görüntünün detay bilgisi eklenirken, çok bandlı görüntünün tamamının saklandığı toplamsal yöntemlerin, yer değiştirme yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Eşzamanlı algılanmış verilerin sonuçlarına bakıldığında ise, yöntemler arasındaki farkın azaldığı yöntem seçiminin önemini yitirdiği görülür. Ancak, uygulamalarda kullanılan uydu görüntüleri genellikle farklı zamanlarda algılandıkları için, seçilecek birleştirme yöntemi önemli olacaktır.

Bu çalışmadan çıkan sonuç, görüntülerin birleştirilmesi ile yüksek çözünürlük oluşturma yöntemlerinden IHS dönüşümü yerine toplamsal wavelet (AWI) yönteminin kullanılmasının spektral özelliklerin korunması anlamında daha iyi sonuç verdiğidir.

METHODS OF MERGING DIFFERENT SATELLITE IMAGES TO IMPROVE RESOLUTION

SUMMARY

The use of satellite remote sensing and its applications have been improved in last a few years parallel to satellite and computer technology. Although, today's sensor systems have high resolution imaging capability, they have still constraints, because of the observation system itself. While data with high spatial resolution is one band only, the multispectral data with high spectral resolution has low spatial resolution. However, to verify the features of an object or an area, resolution in both should be high. So there is a need to use data from different instruments, which have different properties. This need brought up the problem of merging images with high spatial resolution and high spectral resolution. The goal is to merge different properties of images of same area and come up with a resulting image having both informations.

In this study, the aim is to understand the methods proposed as a solution to the problem and to apply these on images from different sensors and also for different sites. Evaluating the results and comparing the methods is also intended. To accomplish these, panchromatic and multispectral images from SPOT, Landsat and IRS satellites have been used.

The first step in image fusion is the registration of the overlapping regions of images from different instruments with different time and imaging geometries. In these two images, one is reference and the other is input, ground control points (GCPs) will be selected, so that a geometric transformation model between two can be generated. This model is applied to the input image in order to perform registration. The accuracy of the GCPs has significant influence on the success of different fusion methods.

First method applied on the geometrically registered images is the standard fusion algorithm, Intensity-Hue-Saturation (IHS) transform method. In this algorithm multispectral image in RGB color space is transformed into IHS color space and I component is replaced by high-resolution panchromatic image for inverse transform. As a result high resolution in spatial domain is achieved, but spectral characteristics have been changed, which is not good for remote sensing applications. There are other methods suggested based on wavelet transform. The aim is to decompose the image into subbands, which have the coarse resolution image and detail information. After decomposition it is possible to inject the high-resolution information to the multispectral image. Wavelet transform used in this study is known as "à trous" algorithm. First wavelet coefficients carrying detail information of the high-resolution image, can be transferred to the multispectral in two ways. First one is, substitution of wavelet coefficients of images and second one is adding the coefficients of panchromatic image directly to the multispectral image channels. Both can be applied to RGB or I components, which gives four different methods.

In order to verify the success of methods, fused image with high spectral and spatial resolution should be compared to an original image with the same resolution. But the definition of the problem verifies that there is no multispectral image available with that spatial resolution. Only way to compare is, to reduce the resolution of both panchromatic and multispectral images first and to apply the methods to improve resolution and form a multispectral image having the same resolution with the original data. The comparison between the fused and the original image is carried out by calculating the correlation coefficients in each spectral band.

The methods have been applied to five image pairs from 2 different sites. The results show that wavelet-based methods give higher correlation values than IHS transform, which means spectral quality is preserved to a higher degree. Additive methods give better results than substitution methods. When imaging is synchronous, the difference between the methods is less, which means the choice of method will lose its importance, but generally satellite images used in applications are acquired in different times, so fusion algorithm is important.

As a result of this study, we can say that to improve resolution of satellite images by fusion, additive wavelet decomposition (AWI) is better than classical IHS transform method by means of spectral feature preservation.



1. GİRİŞ

Uydularla uzaktan algılama günümüzde her alanda uygulaması olan ve her geçen gün gelişen çok önemli bir konudur. Yeryüzü ile ilgili bilgilerin, uzaktan algılanmış uydu verilerinin incelenmesi ile ortaya çıkarılması mümkündür.

Uydu verilerinin konumsal ve spektral çözünürlükleri, sistemin kendisinden kaynaklanan sınırlamalarla belirlenir. Görüntüleme yapan sistemin, algılayıcılarının çalışma bölgesi, algılanacak elektromagnetik yansımanın dalgaboyunun belirli aralıkta olması anlamına gelir. Bu bölgedeki yansımaya duyarlı olan algılayıcılar için spektral band elektromagnetik spektrumun belirli bir kısmıdır. Konumsal çözünürlüğü etkileyen birçok parametre vardır. Algılayıcılardan oluşan dizinin özelliği, mercek sistemi ve özellikleri, uydunun bulunduğu yükseklik , algılama geometrisi bunlardan en önemlileridir.

Günümüzde kullanılan uydu görüntüleme sistemleri 1m ile 30m arasında konumsal çözünürlüklere sahiptir. Bu değerler, pankromatik olarak adlandırılan, tek bir çalışma aralığında algılama yapan sistemler için geçerlidir. Çok bandlı yani birden fazla aralıkta algılama yapan sistemlerde ise konumsal çözünürlük daha düşük değerler almaktadır. Görüntüleme sistemleri ile ilgili detaylı bilgiler, Bölüm 2.1 'de verilmiştir.

Bir cisim veya bölgenin spektral özelliklerini belirlemek için çok bandlı, fiziksel özelliklerini belirlemek için de konumsal çözünürlüğü yüksek tek bandlı verilere ihtiyaç vardır, bu ihtiyaç yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü ile düşük çözünürlüklü çok bandlı görüntünün birleştirilmesi ve çözünürlüğü yüksek çok bandlı görüntüleri elde etme, bu anlamda çözünürlüğün artırılması problemini ortaya çıkarmıştır. Çok bandlı görüntülerin çözünürlüklerinin 20 m olduğu durumda pankromatik görüntüler 10 m çözünürlüğe sahipse, birleştirme işlemi sonucunda 10 m çözünürlüklü çok bandlı görüntüler elde edilir ve çözünürlük artmış olur.

Çözünürlüğü artırma problemi için önerilen ilk çözüm IHS (Intensity – Hue – Saturation) dönüşüm yöntemi olmuştur, bu konuda bir çok çalışma yapılmış, farklı

algılayıcılardan veya farklı zamanda elde edilen görüntüler birleştirilerek, yüksek çözünürlüklü çok bandlı görüntüler oluşturulmuştur. [1][2][3]

Bu yöntemle ilgili en önemli problem, IHS yöntemi ile birleştirilen görüntüde pankromatik görüntünün baskın olması ve bu nedenle çok bandlı görüntüden gelen spektral özelliklerin bozulmasıdır. Bunun nedeni IHS renk uzayındaki görüntünün I bileşeni yerine pankromatik görüntünün doğrudan konmasıdır.

Önerilen bir diğer yöntem ise, pankromatik görüntüdeki detay bilgisini ayırtmak için wavelet dönüşümünü kullanmak, böylece gerekli olan bilgiyi, çok bandlı görüntüye spektral özellikleri fazla değiştirmeden aktarmaktır. Çok çözünürlüklü yaklaşıma dayalı ve wavelet dönüşümünü kullanan bazı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, Duport ve diğerleri [4], SPOT pankromatik (P) ve çok bandlı (XS) görüntülerinin birleştirilmesinde wavelet dönüşümünü kullanmışlardır. Kullanılan yöntemde, öncelikle pankromatik görüntüden XS 'in her bir bandındaki histograma göre uygunlaştırılmış üç pankromatik görüntü oluşturulur. Bunlara wavelet dönüşümü uygulanır ve her biri, düşük çözünürlüklü P görüntüsü, yatay, dikey ve çapraz detay bilgileri olmak üzere dört alt banda ayrıştırılır. Bu arada XS görüntüsüne, P referans olmak üzere görüntü çakıştırma işlemi uygulanır. Daha sonra her bir bandına ilgili pankromatik detay bilgisi ile birleştirilmek üzere ters wavelet dönüşümü uygulanır. Sonuçta, yüksek çözünürlüklü çok bandlı görüntü elde edilir.

Bir diğer yöntem ise Ranchin ve Wald tarafından ortaya konan ARSIS yöntemidir [5]. Burada da yine çok çözünürlüklü analiz ve wavelet dönüşümü kullanılmıştır. Yöntem SPOT-P ve XS görüntüleri için tasarlanmıştır. Yüksek çözünürlüklü görüntüde, düşük çözünürlüklüye göre bir adım fazla wavelet dönüşümü uygulandığında her iki görüntünün de aynı ölçeğe olacağı gerçeğinden hareketle, bu wavelet katsayıları bir model kulanarak düşük çözünürlüklü görüntüye aktarılır. Burada Daubechie'nin ortogonal waveletleri kullanılmıştır. 10 m çözünürlükteki P 'ye iki adım wavelet dönüşümü uygulanır, bir model yardımıyla hesaplanan detay bilgisini içeren yeni wavelet katsayıları ile 20m XS kullanılarak ters wavelet dönüşümü uygulandığında yüksek çözünürlüklü 10 m XS görüntüsü elde edilir.

Chibau ve Houacine de yine wavelet dönüşümü ile bir başka çalışma yapmışlardır [7]. Burada wavelet dönüşümü alınırken farklı bir yöntem kullanılmış, "a trous"

algoritmasıyla ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir, bu dönüşüm ortogonal değildir. Boşluklu olarak da bilinen bu yöntemde her ölçekteki alt örnekleme adımı kaldırılmıştır, örnek sayısı sabit kalmaktadır. Burada da yine pankromatik ve XS in wavelet katsayılarını birleştiren bir model kullanılması önerilmiş ve sonra ters wavelet dönüşümü ile yüksek çözünürlük elde edildiği ortaya konmuştur.

Son olarak bu çalışmada da inceleme konusu olan toplamsal wavelet yöntemi, Nunez, Otazu ve diğ. tarafından gerçekleştirilmiş ve önceki yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği öne sürülmüştür [8]. Burada da yine “a trous” algoritması kullanılmakta böylece dönüşümün ötelemeyele değişmezliği garanti edilmektedir. Ayrıca ARSIS yöntemi Laplace piramidine benzer bir görüntü piramidi oluştururken, bu yöntemde alt örnekleme yapılmadığı için her ölçekte aynı örnek sayısı elde edilir. Bu ayrıştırma yöntemi, çözünürlüklerinin oranı ikinin katı olmayan verilerin (10m ve 30m) birleştirilmesinde de kullanılabilir. Özel bir durum olan , SPOT P ve XS kullanılır ve bir wavelet düzlemi eklenmesi hali göz önüne alınırsa, bu yöntem ARSIS yöntemine [5] ingirgenmiş olur.

Tüm bu yöntemler, standart birleştirme tekniği olan IHS dönüşümüne göre spektral özelliklerin daha iyi korunmasını sağlamak amacıyla öne sürülmüşlerdir. Başarım kriteri ise, düşük çözünürlükten (20m – 40m) başlanarak elde edilen 20 m XS görüntüsü ile orijinal 20 m XS görüntüsünün korelasyon katsayısının 1'e yakın olmasıdır.

Bu çalışmada, görüntü birleştirmek için kullanılan standart yöntemin ve wavelet dönüşümüne dayalı bazı yöntemlerin incelenmesi, değerlendirilmesi farklı zamanlarda veya farklı görüntüleme sistemlerinden algılanmış görüntüler üzerinde uygulanması ve sonuçlardan yola çıkarak yöntemlerin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bunun için SPOT uydusundan alınan P ve XS görüntüleri, IRS-1C pankromatik ve Landsat – TM görüntüleri birleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir.

Amaç, bu yöntemleri değerlendirirken, bir yandan da SPOT–XS ve SPOT–P ; Landsat–TM ve SPOT–P ; SPOT–XS ve IRS-1C çiftlerine de uygulanabileceğini göstermek, farklı spektral özelliklere sahip görüntülerde davranışı incelemek, başarım kriterlerini kullanarak sonuçların kalitesini ortaya koymaktır.

Çalışmanın yapısına bakılacak olunursa Bölüm 2 'de temel prensipler başlığı altında, farklı uydu sistemlerinin ve elde edilen verilerin özellikleri, görüntü birleştirme algoritmalarında kullanılan temel adımlardan, görüntü çakıştırma, histogram uyumlaştırma ve IHS dönüşüm tekniği anlatılmıştır.

Bölüm 3 'te wavelet dönüşümü ve çok çözünürlüklü analiz hakkında detaylı bilgi verilmiş ve burada araç olarak kullanılan dönüşümün teorisi açıklanarak, bazı wavelet dönüşüm teknikleri anlatılmış, bu çalışmada kullanılan “a trous” algoritması açıklanmıştır.

Bölüm 4 'te, standart yöntem olan IHS dönüşümü, wavelet dönüşümüne dayalı yerdeğiştirme ve toplamsal wavelet dönüşüm yöntemlerinin RGB ve I bileşenine uygulanmasıyla oluşan toplam 5 ayrı yöntem anlatılmış, bu yöntemler iki ayrı çalışma bölgesinden alınan verilere uygulanmıştır. Burada SPOT, LANDSAT ve IRS-1C uydu verileri kullanılarak, beş ayrı görüntü çifti için sonuçlar elde edilmiş, ve başarımlarına göre bu yöntemlerin sonuçları değerlendirilmiştir.

Bölüm 5 'te ise bu çalışma ile ortaya konan sonuçlar verilmiş ve bazı öneriler yapılmıştır.

2. TEMEL PRENSİPLER

2.1. Uydu Sistemleri Ve Görüntülerinin Özellikleri

2.1.1. SPOT

SPOT uyduları, yeryüzünden ortalama 830 km yükseklikte polar yörüngede hareket eden sistemlerdir. Yeryüzü etrafında bir tur dönmesi yaklaşık 101 dakika sürer, 24 saat içinde 14,2 tur tamamlayan bu uydular, 26 gün sonunda 369 turu tamamlayarak izdüşümü aynı olan yörüngeden tekrar geçer, yani periyodu 26 gündür. Üzerindeki algılama sisteminin doğu veya batı yönüne 27° açı ile yöneltilebilir olması, bir yörünge üzerinde iken bakış açısına bağlı olarak 60 – 80 km genişliğinde bir şeriti taramasına imkan verir. Bu şeritin seçileceği bölge uydunun ayakzının etrafındaki 950 km genişliğindeki alandır.(Şekil 2.1a)

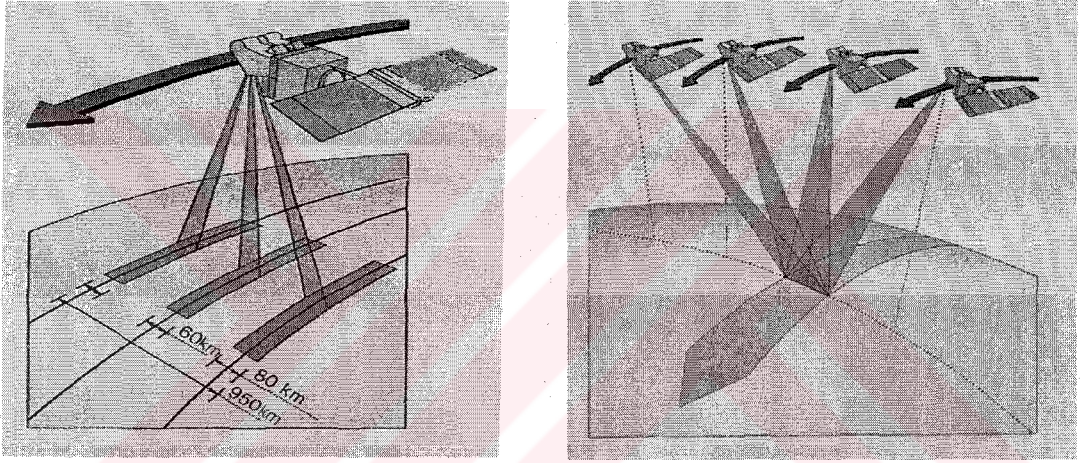
Bu sistemlerin üzerinde görünür bölgede çalışan biribirinin eşi iki yüksek çözünürlüklü algılayıcı vardır. HRV-1 ve HRV-2 birbirlerinden bağımsız hareket edebilir. Eğer iki algılayıcı birlikte kullanılıyorsa (ikiz kullanım) yan yana alınan görüntü şeritlerinin örtüşen ortak bölgesi 3 km'dir, böylece düşeye yakın görüntüleme için 117 km'lik alanda görüntü elde edilir. İki algılayıcının, tamamen çakışacak biçimde aynı bölgeyi görüntülemesi de mümkündür. Algılayıcı sistemlerin her ikisinde de biri 3000 diğeri 6000 tane iki sıra dedektör vardır, böylece her 20m ve 10m de bir yansıyan ışımayı algılar. Nominal görüntü 60-80 km ye 60 km boyutlarındadır, algılama moduna bağlı olarak çok bandlı görüntüler 20m lik 3000 satır ve piksel ; pankromatik görüntüler ise 10 m lik 6000 satır ve pikselden oluşur. Pikel boyutları görüntüleme açısına göre 10-13.5m veya 20-27m dir, ancak yeniden örnekleme yapılır ve piksel sayısı artırılarak 10m veya 20 m lik pikseller oluşturulur. Algılayıcıların hareket kabiliyeti olması aynı bölgenin farklı yörüngelerden stereoskopik görüntülenmesi imkanını verir (Şekil 2.1b). Stereo çiftler, topoğrafik haritalamada ve sayısal arazi modelinin çıkarılmasında kullanılırlar.

Algılayıcılar, iki farklı modda çalışabilirler, pankromatik ve çok bandlı. Pankromatik görüntüleme için tek bir spektral band kullanılırken, çok bandlı modda görüntüleme SPOT 1-2 için 3 band, SPOT 4 için ise 4 bandda gerçekleştirilir. Bununla ilgili

detaylı bilgiler Tablo 2.1'de görülmektedir. Görüntülerde radyometrik çözünürlük, ayırt edilebilen grilik seviyesi olarak tanımlıdır ve band başına 8 bit, 256 seviyedir.

Tablo 2.1 : SPOT uydu sisteminin özellikleri

Sistem		SPOT 1 (HRV 1 & 2)	SPOT 2 (HRV 1 & 2)	SPOT 4 (HRV 1 & 2)
Çözünürlük	P	10 m	10 m	10 m
	XS	20 m	20 m	20 m
Band	P	0.51 – 0.73 μm	0.51 – 0.73 μm	0.51 – 0.73 μm
	XS 1	0.50 – 0.59 μm	0.50 – 0.59 μm	0.50 – 0.59 μm
	XS 2	0.61 – 0.68 μm	0.61 – 0.68 μm	0.61 – 0.68 μm
	XS 3	0.79 – 0.89 μm	0.79 – 0.89 μm	0.79 – 0.89 μm
	XS 4	-	-	1.58 – 1.75 μm
İnklasyon		$\pm 27^\circ$	$\pm 27^\circ$	$\pm 27^\circ$
Genişlik		60 – 80 km	60 – 80 km	60 – 80 km

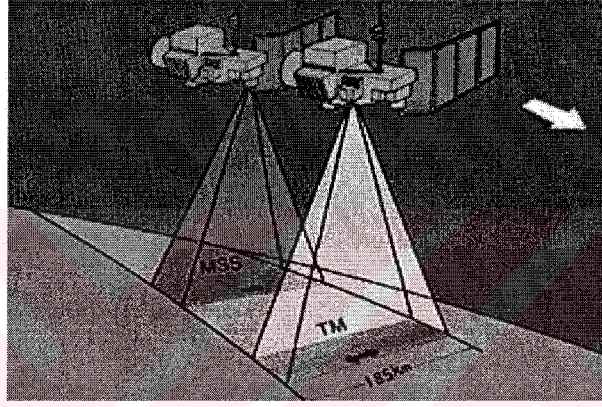


Şekil 2.1 : SPOT (a) Bir geçişte görüntülenebilecek bölge (b) stereo görüntüleme

SPOT uydu görüntüleri, farklı seviyelerde işlenebilir, her seviye için yapılan düzeltmeler farklıdır. Örneğin Level 1A görüntüsünde yalnızca algılayıcı dizisinin duyarlılığını eşitleyen lineer model kullanılarak normalizasyon sağlanır. Level 1B de radyometrik düzeltmeler yapılır ; yeryüzünün yuvarlaklığı, yerkürenin hareketi, yörüngesel değişimler gibi sistemden kaynaklanan nedenlerle oluşan bozulmalar düzeltilir ve görüntünün örnekleme aralığı sabitlenir. Görüntüleme açısına bağlı olarak pankromatik modda 6400-8500 , çok bandlı XS modda 3200-4250 arasında piksel oluşur. Level 2A'da yer kontrol noktaları kullanılmadan verilen bir projeksiyon sistemine göre doğrultma yapılır, Level 2B 'de ise harita üzerinden veya GPS ile alınmış yer kontrol noktaları (GCP) kullanılır. Level S için bir görüntü bir başka referans görüntüye göre düzeltilir, burada kullanılan referans 1B ise Level S1, Level 2 ise Level S2 adını alır.

2.1.2. LANDSAT

İlk Landsat uyduları 1, 2 ve 3 , 900 km yükseklikte, Landsat 5 ve 7 ise, 700 km yükseklikte polar yörüngede, güneşle senkron hareket etmektedir. Bu iki grup için periyod sırasıyla 18 ve 16 gündür. Şekil 2.2 de de görüldüğü gibi algılayıcının yöneltilmesi söz konusu değildir. Landsat uyduları üzerinde iki tür algılayıcı sistem mevcuttur. İlki, MSS yani çok bandlı tarayıcı ; ikincisi ise TM tematik algılayıcıdır. Her iki algılayıcı için de çözünürlük, görüntülenen alanın genişliği, spektral band aralıkları, Tablo 2.2. 'de verilmiştir. TM için radyometrik çözünürlük 8 bit iken, MSS için, 6 bit ile ifade edilir, ancak 8 bit olarak kaydedilir.



Şekil 2.2 : Landsat uydusunun TM ve MSS görüntüleme sistemleri

Tablo 2.2 : Landsat uydu sistemi özellikleri

Sistem		MSS	TM
Spektral Band	Band 1	0.5 – 0.6 μm	0.45 – 0.52 μm
	Band 2	0.6 – 0.7 μm	0.52 – 0.60 μm
	Band 3	0.7 – 0.8 μm	0.63 – 0.69 μm
	Band 4	0.8 – 1.1 μm	0.76 – 0.90 μm
	Band 5	–	1.55 – 1.75 μm
	Band 6	–	10.42 – 12.50 μm
	Band 7	–	2.08 – 2.35 μm
Genişlik	Doğu – Batı	185 km	185 km
	Kuzey – Güney	185 km	170 km
Çözünürlük	Band 6 (ısı)	–	120 m * 120 m
	diğer	80 m * 80 m	30 m * 30 m

2.1.3. IRS

IRS-1C uydu sistemi, SPOT HRV ve Landsat TM ve MSS algılayıcılarının özelliklerini birleştiren bir yapıya sahiptir. Üç farklı algılayıcının ilki tek bandlı pankromatik, ikincisi Landsat-TM deki ilk dört bandın benzerini kullanan LISS-II , diğeri de, NOAA AVHRR gibi geniş alanda düşük çözünürlüklü görüntüleme için kullanılan WiFS algılayıcısıdır. 816 km yükseklikte, güneş ile senkron polar yörüngede hareket eden bu sistem de 26° açı ile görüntüleme yapabilmektedir. Stereoskopik görüntüleme özelliğine sahiptir ve en yüksek çözünürlük 5.8 m dir. Çözünürlük yüksek olmasına rağmen görüntüleme genişliği 70 km dir. Bu önemli bir avantajdır. IRS-1C nin özellikleri Tablo 2.3 te görülmektedir.

Tablo 2.3 : IRS uydu sistemi özellikleri

Algılayıcı Sistem		Dalga boyu(μm)	Çözünürlük	Genişlik	Periyod
PAN		0.5 - 0.75	5.8 m	70 km	24 gün
LISS-II	Band 1	0.52 - 0.59	23 m	142 km	24 gün
	Band 2	0.62 - 0.68	23 m	142 km	24 gün
	Band 3	0.77 - 0.86	23 m	142 km	24 gün
	Band 4	1.55 - 1.70	70 m	148 km	24 gün
WiFS	Band 1	0.62 - 0.68	188 m	774 km	5 gün
	Band 2	0.77 - 0.86	188 m	774 km	5 gün

2.2. Uydu Görüntülerin Çakıştırılması

Uzaktan algılanan verilerin çakıştırılmaları, aynı veya farklı algılayıcılardan eş zamanlı veya farklı zamanlarda aynı bölgeye ait, iki görüntünün konumda birbirlerine en uygun hale getirilmesi işlemidir. Görüntü birleştirmenin ilk adımı olan, görüntülerin çakıştırılması, genellikle farklı zamanlarda alınmış olan veriler kullanıldığından, çok kritik ve sonucun kalitesini büyük ölçüde etkileyen adımlardan biridir. Bir görüntünün, referans olarak kullanılan diğer bir görüntüye uygun hale getirilmesi için bir konumsal dönüşüm uygulanması gerekir. Dönüşüm sonucunda her iki görüntü de aynı geometriye sahip olur ve artık piksel düzeyinde karşılaştırma ve işlem yapılması mümkündür.

Farklı algılayıcı sistemler ile veya farklı zamanlarda elde edilen görüntülerin herbirinde geometrik ve radyometrik bozulmalar vardır. Geometrik bozulmalar, sistematik ve rasgele bozulmalar olarak gruplandırılabilirler. Her iki grupta da iki tür bozulma ile karşılaşılır. İlki algılayıcıdan kaynaklanan, dolayısıyla kaynağı belirli ve kalibrasyon ile düzeltilebilen bozulmalar, ikincisi ise görüntülenen bölgenin özelliklerine ve platform hareketlerine bağlı yer kontrol noktaları alınarak belirlenebilen bozulmalardır. Bu bozulmalar zaman veya sistem farklı olduğunda farklı olmaktadır. Ancak tüm bu etkiler, görüntüler ileri seviyelerde işlendiğinde ortadan kaldırılabilir. Bunların dışında bir de algılama geometrisinden kaynaklanan, görüntülenen bölgelerin tamamen çakışmaması sorunu vardır. Burada gerçekleştirilen işlem bunu göz önüne alarak, farklı yörüngelerden algılanmış görüntülerde yalnızca konumsal dönüşüm uygulayarak çakıştırma yapar. Bunun için kullanılan görüntülerin diğer bozulmaların düzeltilmiş olduğu seviyelerde işlenmiş olması gerekir.

Giriş görüntüsü, geometrik olarak bir referansa göre uygun hale getirilecek olan görüntü ; çıkış görüntüsü, referansa göre düzeltilmiş olan görüntü ; referans görüntü ise diğer görüntülerin düzeltilmesinde kullanılacak olan yüksek çözünürlüklü görüntüdür. Tüm noktalar için referans görüntü koordinatları ile çıkış görüntüsü koordinatları arasında konumsal bir dönüşüm tanımlanarak çıkış görüntüsü belirlenir. Bu dönüşüm polinom fonksiyonları ile gerçekleştirildiğinde, kontrol noktalarının sayısı ile belirlenen polinom derecesi artırılarak tüm yüzeyde interpolasyon yapılabilir, ancak polinom derecesinin büyük olması ek bozulmalara yol açıp hatayı

arttırabilir. Giriş çıkış görüntüsüne iz düşürmek için iki yöntem vardır, ileri ve geriye izdüşüm. İleri izdüşümde giriş görüntüsünün piksel değerlerinin çıkışta nereye karşı düşeceğine bakılır, ancak bu durumda çıkışta atama yapılmayan piksel değerleri olacağı gibi, iki kez değer verilen pikseller de olabilir. Bunu önlemek için ikinci yöntem olan geriye izdüşüm kullanılır, çıkış görüntüsünde herbir pikselin değeri, giriş görüntüsünde karşı düşen yere bakılarak belirlenir.

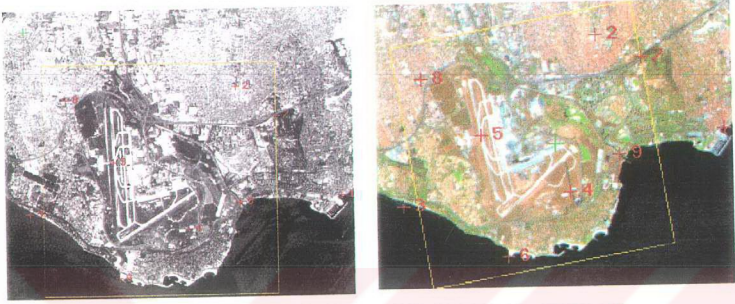
Görüntülerin geometrik çakıştırma işleminin adımları şöyledir :

- 1) Referans ve giriş görüntüsünde yer kontrol noktaları (GCP) seçilir.
- 2) Dönüşüm modeli, referans ve giriş görüntülerinin koordinatları arasındaki ilişki ile belirlenir.
- 3) Geriye izdüşüm kullanılarak çıkış koordinatlarının, girişe izdüşürülmesi sağlanır.
- 4) İzdüşüm sırasında hesaplanan değerler, eşit aralıklı piksel değerlerinin tam üzerine düşmeyeceği için interpolasyon uygulanması gerekir.

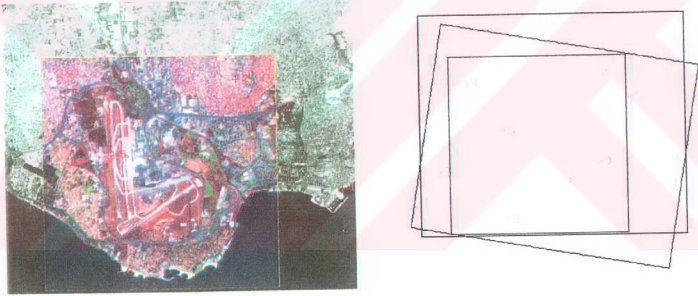
Buradaki en önemli kısım, kontrol noktalarının belirlenmesindeki doğruluktur, çünkü çakıştırma işleminin kalitesini doğrudan etkiler, hatalı seçilen kontrol noktaları görüntünün bozulmasına sebep olur. Kontrol noktaları görüntü içinde kolaylıkla bulunabilen fiziksel özellikleri olan yerler seçilmelidir, örneğin havaalanları, karayolu kesişimleri, kıyıları. Kontrol noktalarının belirlenmesinde 3 yöntem vardır : manuel, yarı otomatik ve otomatik. Manuel yöntem, kullanıcı yardımıyla her iki görüntü üzerinde de aynı nokta seçilerek gerçekleşir, burada kullanıcının görme doğruluğu önem kazanır. Yarı otomatik yöntemde de kullanıcı kontrol noktaları seçer, ancak bu kez seçilen bölgede bir pencere içindeki kontrol noktalarının gerçek yeri korelasyonu maksimize edecek biçimde hesaplanır. Üçüncü yöntem ise otomatiktir, amaç kullanıcı olmadan bu işlemi gerçekleştirmektir. Burada iki görüntüde ortak olan bölgelerde, benzerliğin ölçüsü olan korelasyona bakılarak kontrol noktaları belirlenir. Çakıştırma işlemi sırasında çıkış görüntüsündeki piksel sayısının, giriştekenden farklı ancak referans görüntüdeki piksel sayısına eşit olması istendiği için, ve dönüşüm sonucunda piksel değerlerinin aralara düşmesi nedeniyle interpolasyon işlemi gerekmektedir.

Bu çalışmada hedeflenen çakıştırma işlemini incelemek olmadığı için kontrol noktalarının seçilmesi, dönüşüm modelinin belirlenmesi, interpolasyon uygulanması ve konumsal çakıştırma işleminin gerçekleştirilmesi ile çıkış görüntüsünün

oluşturulması PCI yazılımında, kontrol noktalarının kullanıcı tarafından seçilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Yer kontrol noktalarının seçildiği referans ve giriş görüntüleri Şekil 2.3 'te, belirlenen bölgedeki çakıştırma öncesi önizleme Şekil 2.4a 'da görüntülerin birbirlerine göre konumları ise Şekil 2.4b 'de görülmektedir.



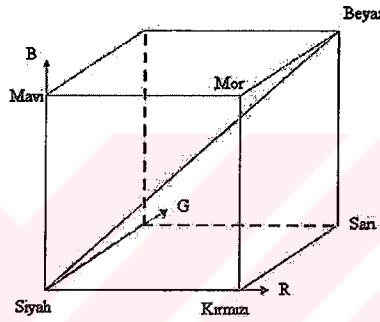
Şekil 2.3 : Görüntü Çakıştırma (a) Referans görüntü (b) Giriş görüntüsü



Şekil 2.4: Görüntü Çakıştırma (a) Önizleme (b) Birbirlerine göre konumları

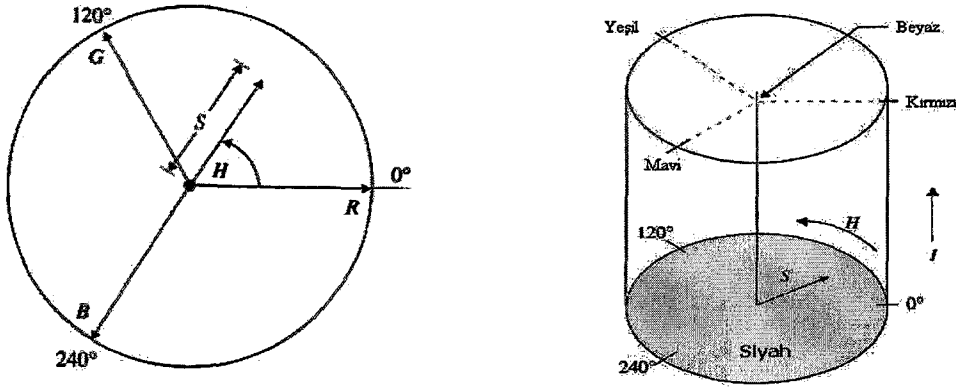
2.3. Renk Gösterilimleri

Bir renk tanımlamanın veya sayısal görüntüde bir pikselinin rengini belirlemenin birden fazla yolu mevcuttur. Bunlardan ilki ve en çok kullanılanı, kırmızı, yeşil, mavi parlaklık değerleri ile ifade etmektir. Bu şekilde tanımlanan görüntü, RGB formatındadır, her piksele karşı düşen renk, 3 boyutlu uzayda , ilk kuadrant içinde yer almaktadır. Şekil 2.5 'te görüldüğü gibi RGB renk uzayının origini, parlaklık değeri sıfır olduğu için siyah, her üç bölgedeki en yüksek parlaklık seviyesinin bileşeni beyaz rengi verir. Renk uzayın oluşturan küpün üç köşesi ana renkleri, (kırmızı, yeşil, mavi); diğer üç köşesi de ara renkleri, (sarı, mavi-yeşil, mor) oluşturur.



Şekil 2.5 : Dikdörtgen renk uzayı

RGB formatından farklı bir tanım ise IHS formatıdır. Bu renk sistemi , ilk kez Munsel tarafından ortaya konmuştur (1939). Tasarımı insanın renge bakış açısını yansıtır ve bu sebeple de görüntü işleme uygulamalarında bazı avantajlar sağlar. Burada I , parlaklığı belirtmekte ve R, G, B değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır, farklı yaklaşımlar da olmasına rağmen çoğu zaman bu üç değerın ortalaması olarak hesaplanır. Sonuç olarak bir pikselin parlaklık bileşeni , renk bilgisi göz önüne alınmadan yalnızca toplam parlaklığın ölçüsüdür. H, rengin tonu ; S ise doygunluğu ile ilgili bilgi verir. Her iki parametre de Şekil 2.6-a 'da görülen renk dairesindeki gibi tanımlanır. H bileşeni, pikselin hangi spektral dalga boyuna en yakın olduğunu gösterir ve yatayla yapılan açı olarak tanımlıdır. 0 derece kırmızı, 120 derece yeşil , 240 derece ise mavidir. S bileşeni, doygunluk olarak da adlandırılır, renk dairesindeki noktanın merkeze olan uzaklığı yani yarıçap olarak tanımlıdır. Birim daire üzerindeki noktalar için doygunluk en yüksek değeri olan 1 'i alır. Bu üç bileşen I, H ve S renk koordinatları Şekil 2.6b deki silindirik renk uzayını tanımlar.



Şekil 2.6 : (a) Renk dairesi (b) Silindirik renk uzayı

2.3.1. RGB – IHS Koordinat Dönüşümü

Şekil 2.5 deki renk küpünün köşegeni, yani siyah ile beyazı birleştiren gri çizgisi adı verilen doğru, silindirik IHS koordinatındaki dikey eksendir. Dolayısıyla, RGB kübü döndürülerek köşegeninin z eksenine boyunca, R ekseninin de x-z düzlemi içinde olması sağlanarak yeni bir x, y, z koordinat sistemi oluşturulur. Bu işlem (2.1) ile şöyle belirlenir:

$$x = \frac{1}{\sqrt{6}}[2R - G - B] \quad y = \frac{1}{\sqrt{2}}[G - B] \quad z = \frac{1}{\sqrt{3}}[R + G + B] \quad (2.1)$$

x-y düzleminde polar koordinatlar tanımlayarak silindirik koordinatlara geçilir :

$$\rho = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad \phi = \text{ang}(x, y) \quad (2.2)$$

$\text{ang}(x,y)$, merkez ile $p(x,y)$ noktası arasındaki doğrunun, x – eksenine yaptığı açıdır. Böylece, I, H, S 'ye karşı düşen (z, ϕ, ρ) ile belirlenmiş silindirik koordinatlara geçilmiş olur. Ancak S, doygunluk ile ilgili iki problem mevcuttur, bunlarda ilki S'nin parlaklık (I) değerinden bağımsız olmaması, ikincisi ise tam doygun renklerin bir daire değil x-y düzlemindeki bir altıgen oluşturuyor olmasıdır (Şekil 2.7).

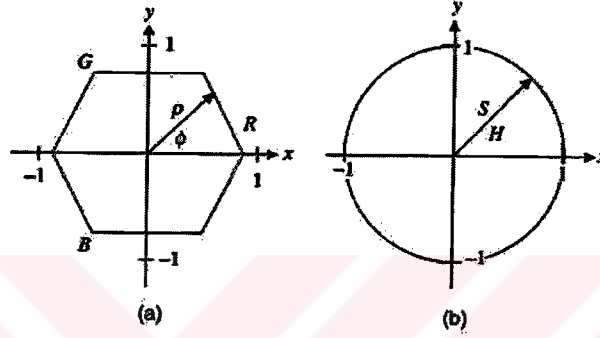
Bunun çözümü için, ρ 'yu ϕ 'nin o değeri için en büyük ρ değeri ile bölerek normalize etmek gerekir. Böylece tam doygun renkler, bir başka deyişle ikiden fazla temel renk içermeyen renkler x-y düzlemindeki birim daire üzerinde yer alırlar.

$$S = \frac{\rho}{\rho_{maks}} = 1 - \frac{3 \cdot \min(R, G, B)}{R + G + B} = 1 - \frac{\sqrt{3}}{I} \cdot \min(R, G, B) \quad (2.3)$$

(2.2) ifadesindeki ϕ , ton (H) değerini verir. Bu açı (2.4) ile hesaplanırken, H (2.5) biçimindedir.

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-G)(G-B)}} \right] \quad (2.4)$$

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G < B \end{cases} \quad (2.5)$$



Şekil 2.7 : Renk uzayında x,y düzlemi (a) normalize edilmemiş polar koordinatlar (b) normalize doygunluk

2.3.2. IHS –RGB Koordinat Dönüşümü

IHS formatındaki piksel değerlerinin tekrar RGB formatına dönüştürülmesi için gerekli ters dönüşüm bağıntıları, o pikselin renk dairesinin hangi bölgesinde olduğuna bağlı olarak farklılıklar gösterir. Bu ifadeler (2.6),(2.7),(2.8) de verilmiştir.

$$0^\circ \leq H < 120^\circ$$

$$R = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cdot \cos(H)}{\cos(60 - H)} \right] \quad B = \frac{I}{\sqrt{3}} [1 - S] \quad G = \sqrt{3} \cdot I - R - B \quad (2.6)$$

$$120^\circ \leq H < 240^\circ$$

$$G = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cdot \cos(H - 120)}{\cos(180 - H)} \right] \quad R = \frac{I}{\sqrt{3}} [1 - S] \quad B = \sqrt{3} \cdot I - R - G \quad (2.7)$$

$$240^\circ \leq H < 360^\circ$$

$$B = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cdot \cos(H - 240)}{\cos(300 - H)} \right] \quad G = \frac{I}{\sqrt{3}} [1 - S] \quad R = \sqrt{3} \cdot I - G - B \quad (2.8)$$

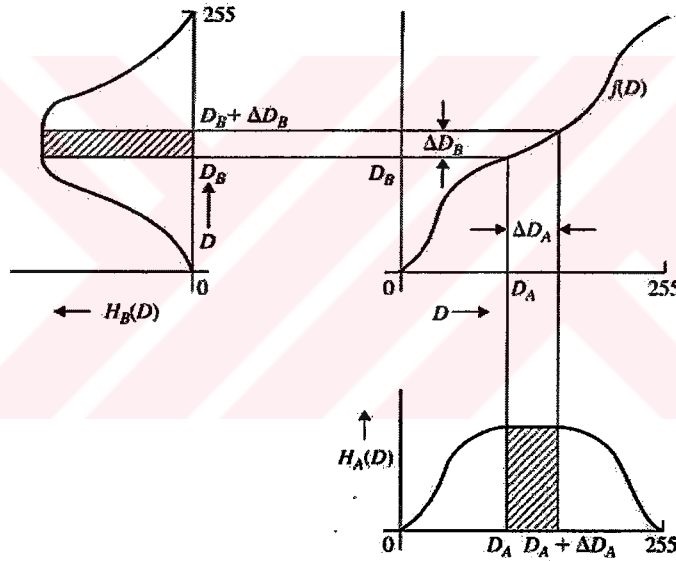
2.4. Histogram Uyumlaştırma

Gri seviye dönüşüm fonksiyonu, $f(D)$ ile tanımlanan ve $A(x,y)$ giriş görüntüsünü $B(x,y)$ çıkış görüntüsüne dönüştüren noktasal operatör olarak tanımlanırsa, verilen $H_A(D)$, giriş görüntüsünün histogramı olmak üzere, çıkış görüntüsünün histogram bağlantısı bulunmak istenirse; D_A giriş görüntüsündeki tek bir piksel değeri olmak üzere, çıkışta karşı düşen değer D_B (2.9) daki biçimde verilir.

$$D_B = f(D_A) \quad (2.9)$$

Buradaki $f(D)$, sonlu eğime sahip azalmayan bir fonksiyon ise ters dönüşüm de mevcuttur ve (2.10) ifadesi ile verilir.

$$D_A = f^{-1}(D_B) \quad (2.10)$$



Şekil 2.8 : Noktasal operatörün histogram üzerindeki etkisi [13]

Giriş histogramı, giriş seviye dönüşüm fonksiyonu ve çıkış histogramı arasındaki ilişki, Şekil 2.8 'de görülmektedir. D_A ve $D_A + \Delta D_A$ aralığında kalan pikseller, D_B ve $D_B + \Delta D_B$ aralığına düşecekler dolayısıyla bir aralıktaki piksel sayısı çıkışta buna karşı düşen aralıktaki piksel sayısına eşit olacaktır. Bu da (2.11) koşulunu getirir.

$$\int_{D_B}^{D_B + \Delta D_B} H_B(D) dD = \int_{D_A}^{D_A + \Delta D_A} H_A(D) dD \quad (2.11)$$

ΔD_A küçük olduğunda ΔD_B de küçük olacaktır böylece (2.12) yaklaşıklığı yapılabilir.

$$H_B(D_B) \cdot \Delta D_B = H_A(D_A) \cdot \Delta D_A \quad (2.12)$$

$$H_B(D_B) = \frac{H_A(D_A)}{\Delta D_B / \Delta D_A} \quad (2.13)$$

Bu durumda çıkış histogramı da (2.13) biçimini alır. ΔD_A sıfıra giderken limit alınır, $f(D)$ nin eğimi sıfırdan farklı olduğu için ΔD_B de sıfıra gider. (2.9) ve (2.10) kullanılarak (2.14) elde edilir. Burada $f' = df / dD$ dir.

$$H_B(D) = \frac{H_A[f^{-1}(D)]}{f'[f^{-1}(D)]} \quad (2.14)$$

Verilen bir giriş görüntüsü için çıkışın her gri seviyesinde eşit piksel sayısı olması yani düzgün dağılımlı histograma sahip olmasını sağlamak için gerekli noktasal operatörün bulunması için, D_m maksimum grilik seviyesi, A_0 ise görüntünün piksel sayısı olmak üzere, her grilik seviyesindeki piksel sayısının A_0/D_m olması gerekir. (2.14) ile verilen çıkış histogramı aynı argümana sahip iki fonksiyonun oranı biçimindedir. Çıkışın düzgün dağılımı sağlaması için bu oranın bir sabit olması gerekir, bunu sağlayan koşul (2.15) ile verilmiştir. Bu ifadenin her iki tarafında da integral alınır (2.16) elde edilir.

$$f'(D) = \frac{D_m}{A_0} H(D) \quad (2.15)$$

$$f(D) = \frac{D_m}{A_0} \int_0^D H(u) \cdot du \quad (2.16)$$

Bir görüntünün olasılık yoğunluk fonksiyonu $p(D)$, histogramı $H(D)$; görüntünün alanı yani piksel sayısı da A_0 olmak üzere, birim alana normalize edilmiş histogramıdır. Toplamsal yoğunluk fonksiyonu, yani normalize alan fonksiyonu (2.18) ile verilmiştir. Bu fonksiyon, histogramın düzgün dağılmasını sağlar.

$$p(D) = \frac{1}{A_0} H(D) \quad (2.17)$$

$$P(D) = \int_0^D p(u) \cdot du = \frac{1}{A_0} \int_0^D H(u) \cdot du \quad (2.18)$$

(2.18) ve (2.16) birleştirilecek olursa (2.19) ifadesi ortaya çıkar.

$$f(D) = D_m \cdot P(D) \quad (2.19)$$

Şekil 2.9 'da görüntülerin normalize histogramları ve normalize alan fonksiyonları görülmektedir, burada kullanılan histogram eşitleme fonksiyonu (2.20) biçimindedir.

$$B(x, y) = f[A(x, y)] = D_m \cdot P[A(x, y)] \quad (2.20)$$

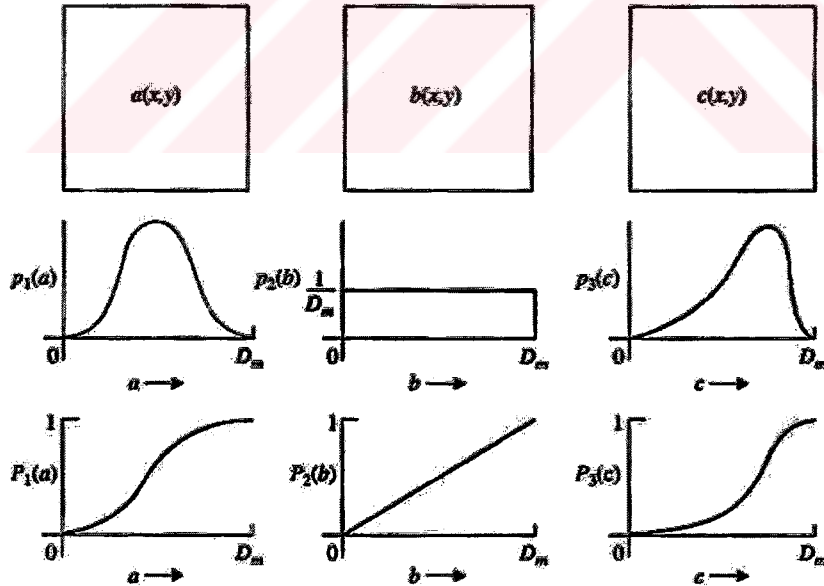
Eğer, $H_3(D)$ ile tanımlı histograma sahip $A(x, y)$ görüntüsü, $C(x, y)$ görüntüsüne dönüştürülmek istenirse, bu işlem iki adımda gerçekleştirilebilir. Önce $f(D)$ kullanılarak, $A(x, y)$ düzgün histogramlı $B(x, y)$ 'ye dönüştürülür, sonra $g(D)$ ile $C(x, y)$ elde edilir.

$$C(x, y) = g[B(x, y)] \quad (2.21)$$

(2.21) aranmakta olan $C(x, y)$ yi göstermek üzere (2.20) de yazılırsa (2.22) halini alır. Buradan $g(D)$ 'nin $D_m \cdot P_3(D)$ nin ters fonksiyonu olduğu görülmektedir. $A(x, y)$ den $C(x, y)$ ye tek bir adımda geçiş ifadesi (2.23) biçiminde yazılabilir.

$$C(x, y) = g\{D_m \cdot P_3[C(x, y)]\} \quad (2.22)$$

$$C(x, y) = g\{f[A(x, y)]\} = P_3^{-1}\{P_1[A(x, y)]\} \quad (2.23)$$



Şekil 2.9 : Histogram eşitleme ve uyumlaştırma [13]

3. WAVELET DÖNÜŞÜMÜ VE ÇOK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ YAKLAŞIM

3.1. Sürekli Wavelet Dönüşümü (CWT)

Bir $f(t)$ işaretinin wavelet dönüşümü, tek bir $\psi(t)$ fonksiyonunun ölçeklenmesi ve ötelenmesi ile oluşan fonksiyonlar ailesine ayrılması olarak tanımlanmıştır. $\psi(t)$, ana wavelet olmak üzere, a ölçekleme, b ise öteleme değişkeni isimlerini alır. $\psi(t) \in L_2(\mathbb{R})$ olmak üzere, (3.1) koşulunu sağlamalıdır.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \cdot dt = 0 \quad (3.1)$$

Bu durumda $a, b \in \mathbb{R}$ olmak üzere (CWT) sürekli wavelet dönüşümü, (3.2) ifadesi ile tanımlanır :

$$CWT_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{\mathbb{R}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \cdot f(t) \cdot dt \quad (3.2)$$

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.3)$$

(3.3) ifadesi wavelet ailesini göstermek üzere, normalizasyon yapılarak $\|\psi_{a,b}(t)\| = \|\psi(t)\|$ koşulu sağlanır. Artık waveletin, (3.4) şartını sağladığı varsayılacaktır.

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} \cdot d\omega < \infty \quad (3.4)$$

$\Psi(\omega)$, $\psi(t)$ 'nin fourier dönüşümünü göstermek üzere pratikte $\Psi(0) = 0$ olur. Fourier dönüşümü orijinde sıfır olduğu ve yüksek frekanslarda spektrum bozulduğu için ; wavelet, band geçiren davranışa sahiptir. $\psi(t)$ normalize edilerek birim enerjili hale getirilirse $\|\psi_{a,b}(t)\| = \|\psi(t)\| = 1$ olur.

$$\|\psi(t)\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 \cdot dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(\omega)|^2 \cdot d\omega = 1 \quad (3.5)$$

Bu durumda $f(t)$ fonksiyonunun wavelet dönüşümü şu biçimde tanımlanır ;

$$CWT_f(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{a,b}^*(t) \cdot f(t) \cdot dt = \langle \psi_{a,b}(t), f(t) \rangle \quad (3.6)$$

$f(t)$ fonksiyonu dönüşüm yapıldıktan sonra tekrar şu şekilde oluşturulabilir ;

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} CWT_f(a,b) \cdot \psi_{a,b}(t) \cdot \frac{da \cdot db}{a^2} \quad (3.7)$$

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} CWT_f(a,b) \cdot \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{da \cdot db}{a^2} \quad (3.8)$$

$a \in \mathbb{R}^+$ ise ve (3.9)'daki ek koşul sağlanırsa (3.7), (3.10) halini alır.

$$C_\psi = \int_0^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} \cdot d\omega = \int_{-\infty}^0 \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} \cdot d\omega \quad (3.9)$$

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} CWT_f(a,b) \cdot \psi_{a,b}(t) \cdot \frac{da \cdot db}{a^2} \quad (3.10)$$

Analiz ve sentez formüllerinin genelleştirilmesi sonucu iki farklı wavelet ortaya çıkar ; analiz için $\psi_1(t)$, sentez için $\psi_2(t)$. Eğer bu iki wavelet (3.11) koşulunu sağlarsa fonksiyonun tekrar oluşturulması için kullanılan ifade (3.12) biçiminde olur.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi_1(\omega)| \cdot |\Psi_2(\omega)|}{|\omega|} < \infty \quad (3.11)$$

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi_1, \psi_2}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \psi_{1a,b}, f \rangle \cdot \psi_{2a,b} \cdot \frac{da \cdot db}{a^2} \quad (3.12)$$

3.1.1. Sürekli Wavelet Dönüşümünün Özellikleri

a) **Lineerlik** : Wavelet dönüşümü lineer bir dönüşümdür.

b) **Öteleme** :

$f(t)$ 'nin wavelet dönüşümü $CWT_f(a,b)$ iken $f'(t) = f(t-b')$ nin dönüşümü şöyledir ;

$$CWT_{f'}(a,b) = CWT_f(a,b-b') \quad (3.13)$$

$$CWT_{f'}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \cdot f(t-b') \cdot dt \quad (3.14)$$

$$CWT_{f'}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t' + b' - b}{a}\right) \cdot f(t') \cdot dt' \quad (3.15)$$

c) Ölçekleme :

$f(t)$ 'nin sürekli wavelet dönüşümü $CWT_f(a,b)$ iken ; $f'(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \cdot f\left(\frac{t}{s}\right)$

olmak üzere $f'(t)$ fonksiyonunun dönüşümü şöyledir:

$$CWT_{f'}(a,b) = CWT_f\left(\frac{a}{s}, \frac{b}{s}\right) \quad (3.16)$$

$$CWT_{f'}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|} \cdot s} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \cdot f\left(\frac{t}{s}\right) \cdot dt \quad (3.17)$$

$$CWT_{f'}(a,b) = \sqrt{\frac{s}{|a|}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{st'-b}{a}\right) \cdot f(t') \cdot dt' \quad (3.18)$$

d) Enerji Korunumu :

Wavelet dönüşümü de, Fourier dönüşümündeki Parseval eşitliğine (3.19) benzer biçimde enerji korunumu özelliğine sahiptir, böylece (3.20) sağlanır.

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 \cdot dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega \quad (3.19)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 \cdot dt = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |CWT_f(a,b)|^2 \cdot \frac{da \cdot db}{a^2} \quad (3.20)$$

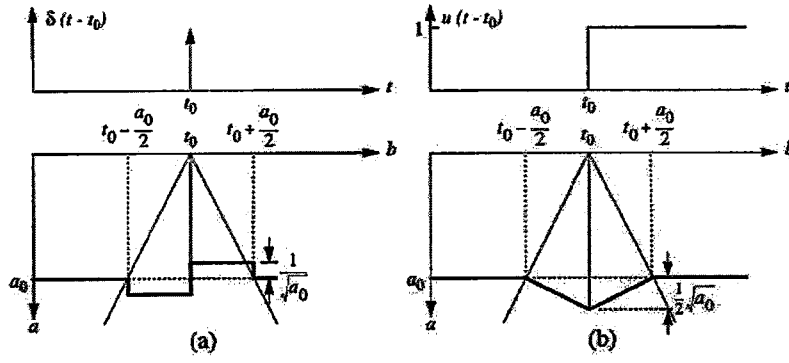
e) Zamanda Yerelleştirme :

$\delta(t - t_0)$, t_0 anında bir dirak darbesi olmak üzere, sürekli wavelet dönüşümü şöyledir:

$$CWT_{\delta}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \cdot \delta(t - t_0) \cdot dt = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t_0 - b}{a}\right) \quad (3.21)$$

Dirak ve basamak fonksiyonları için elde edilen durum Şekil 3.1 'de görülmektedir.

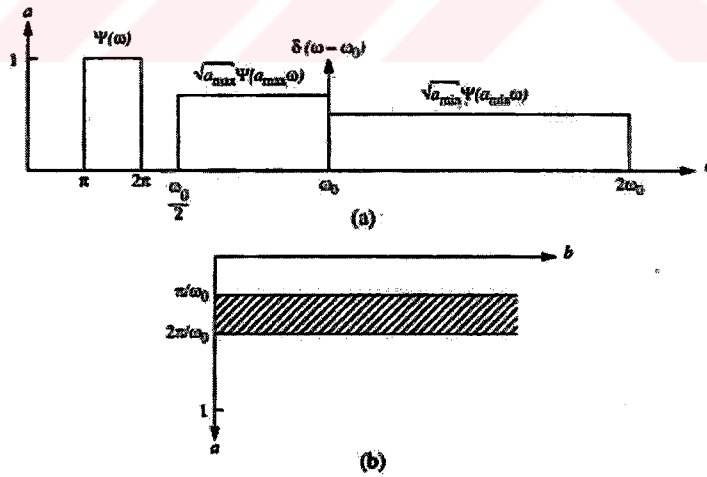
Burada bu dönüşümün, işareti daha yakından inceleyebilme özelliği görülmektedir.



Şekil 3.1 : Zamanda yerelleştirme (a) dirak fonksiyonu (b) basamak fonksiyon [11]

f) Frekansta Yerelleştirme :

Burada wavelet olarak sinc fonksiyonu seçilecek ve $\pi - 2\pi$ aralığında genliği 1 olan mükemmel band geçiren filtre olduğu varsayılacaktır. w_0 frekansında birim genlikli bir karmaşık sinüzoid varsa, bunu geçirecek en yüksek frekanslı wavelet, $a_{\min} = \pi/w_0$ ölçek katsayısı ve $\sqrt{\pi/w_0}$ kazancına ; en düşük frekanslı wavelet ise, $a_{\max} = 2\pi/w_0$ ölçek katsayısı ve $\sqrt{2\pi/w_0}$ kazancına sahiptir. Şekil 3.2(a) da bu filtreler, (b)'de ise sinc kullanılarak alınmış wavelet dönüşümü görülmektedir.



Şekil 3.2 : Sinc wavelet için sürekli wavelet dönüşümünün frekans yerelleştirmesi [11]

3.2. Ayrık Zamanda Wavelet Dönüşümü

3.2.1. Çok çözünürlüklü analiz

Çok çözünürlüklü analizde, her j adımında $f(x)$ fonksiyonu bir alt küme olan V_j üzerine izdüşürülür. Bu izdüşüm, $f(x)$ fonksiyonu ile, ölçeklenmiş ve ötelenmiş $\phi(x)$ ölçekleme fonksiyonunun skaler çarpımı şeklinde tanımlanır ve

$$c_j(k) = \langle f(x), 2^{-j} \phi(2^{-j}x - k) \rangle \quad (3.22)$$

biçimde gösterilir. $\phi(x)$ ölçekleme fonksiyonu

$$\frac{1}{2} \phi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_n h(n) \phi(x - n) \quad (3.23)$$

veya

$$\hat{\phi}(2\nu) = \hat{h}(\nu) \hat{\phi}(\nu) \quad (3.24)$$

koşulunu sağladığı için ve $\hat{h}(\nu) = \sum_n h(n) \delta(x - n)$ 'nin fourier dönüşümü olmak üzere

$$\hat{h}(\nu) = \sum_n h(n) e^{-2\pi i n \nu} \quad (3.25)$$

(3.25) elde edilir. (3.23) koşulu sayesinde $c_{j+1}(k)$ kümesinin, $c_j(k)$ 'dan doğrudan elde edilmesi mümkün olur. $c_0(k)$ ile başlayıp $j > 0$ için $c_j(k)$ lar hesaplanabilir.

$$c_{j+1}(k) = \sum_n h(n - 2k) c_j(n) \quad (3.26)$$

Her adımda skaler çarpımların sayısı yarıya iner, işaret yumuşatılır ve bilgi kaybedilir. V_j 'den V_{j+1} 'e geçerken kaybolan bilgi, V_{j+1} 'in tamamlayıcı ortogonal alt uzayı olan W_{j+1} kullanılarak yeniden elde edilebilir. Bu alt uzay uygun bir wavelet fonksiyonu, $\psi(x)$ 'in ölçeklenmesi ve ötelenmesi ile oluşturulur.

$$\frac{1}{2} \psi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_n g(n) \phi(x - n) \quad (3.27)$$

veya

$$\hat{\psi}(2\nu) = \hat{g}(\nu) \hat{\phi}(\nu) \quad (3.28)$$

$\langle f(x), 2^{-(j+1)} \psi(2^{-(j+1)}x - k) \rangle$ skaler çarpımları şu şekilde hesaplanır

$$w_{j+1}(k) = \sum_n g(n - 2k) c_j(n) \quad (3.29)$$

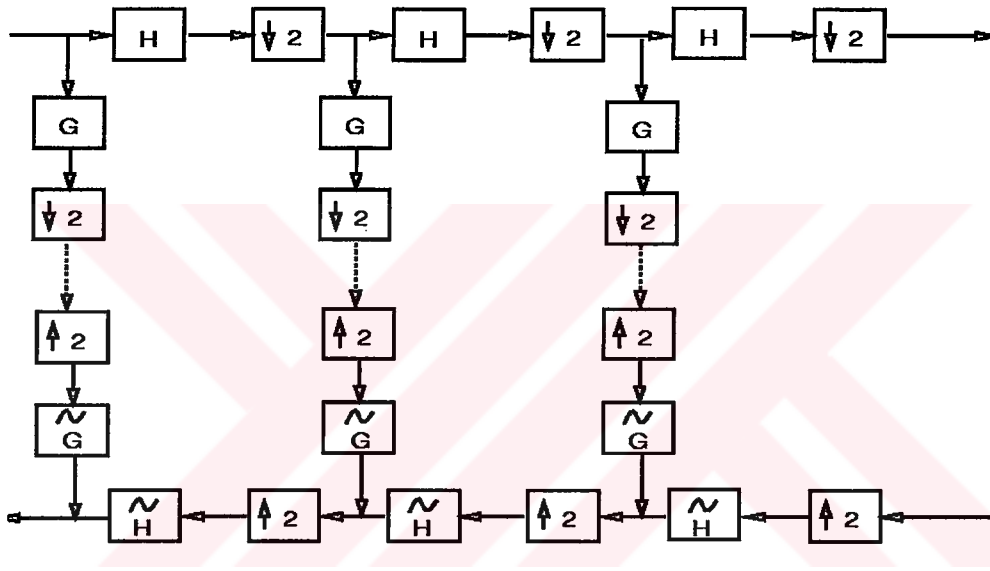
Yeniden oluşturma (3.30) denklemi ile sağlanır.

$$c_j(k) = 2 \sum_l \left[c_{j+1}(l) \tilde{h}(k+2l) + w_{j+1}(l) \tilde{g}(k+2l) \right] \quad (3.30)$$

Mükemmel yeniden oluşturma için h ve g 'nin konjugeleri olan $\tilde{h}$ ve $\tilde{g}$ 'nin (3.31) ve (3.32) koşullarını sağlaması gerekir.

$$\hat{h}\left(v + \frac{1}{2}\right) \hat{h}(v) + \hat{g}\left(v + \frac{1}{2}\right) \hat{g}(v) = 0 \quad (3.31)$$

$$\hat{h}(v) \hat{h}(v) + \hat{g}(v) \hat{g}(v) = 1 \quad (3.32)$$



Şekil 3.3 : Çok çözünürlüklü analiz için filtre bankaları

Ortogonal waveletler aşağıdaki biçimde kısıtlanmış duruma karşı düşerler ve (3.33 a-d) ile verilen koşulları sağlamaları gerekir.

$$\hat{g}(v) = e^{-2\pi i v} \hat{h}^*\left(v + \frac{1}{2}\right) \quad (3.33a)$$

$$\hat{h}(v) = \hat{h}^*(v) \quad (3.33b)$$

$$\hat{g}(v) = \hat{g}^*(v) \quad (3.33c)$$

$$\left| \hat{h}(v) \right|^2 + \left| \hat{h}\left(v + \frac{1}{2}\right) \right|^2 = 1 \quad (3.33d)$$

Bu durumda (3.31) ve (3.32) denklemlerinin de sağlandığı görülmektedir.

Biortogonal waveletler için ise (3.34 a-c) bağıntıları mevcuttur

$$\hat{g}(v) = e^{-2\pi i v} \hat{h}^*(v + \frac{1}{2}) \quad (3.34a)$$

$$\hat{\tilde{g}}(v) = e^{2\pi i v} \hat{h}^*(v + \frac{1}{2}) \quad (3.34b)$$

$$\hat{h}(v) \hat{\tilde{h}}(v) + \hat{h}^*(v + \frac{1}{2}) \hat{\tilde{h}}^*(v + \frac{1}{2}) = 1 \quad (3.34c)$$

Burada da yine (3.31) ve (3.32) koşulları sağlanmaktadır. Bunlar için birçok wavelet fonksiyonu oluşturulabilir.

İki boyuta geçildiğinde, x ve y yönlerinde iki ayrı değişken olacaktır, bu durumda ölçekleme fonksiyonu (3.35) deki biçimdedir. Bir çözünürlük düzeyinden diğerine geçiş ise (3.36) ile gerçekleştirilir.

$$\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y) \quad (3.35)$$

$$f_{j+1}(k_x, k_y) = \sum_{l_x=-\infty}^{+\infty} \sum_{l_y=-\infty}^{+\infty} h(l_x - 2k_x) h(l_y - 2k_y) f_j(l_x, l_y) \quad (3.36)$$

Ayrıntı işareti üç ayrı wavelet ile elde edilir.(3.37a-c)

$$\text{Dikey wavelet} \quad \psi^1(x, y) = \phi(x)\psi(y) \quad (3.37a)$$

$$\text{Yatay wavelet} \quad \psi^2(x, y) = \psi(x)\phi(y) \quad (3.37b)$$

$$\text{Çapraz wavelet} \quad \psi^3(x, y) = \psi(x)\psi(y) \quad (3.37c)$$

Bunlar kullanılarak üç ayrı alt görüntü oluşturulur (3.38a-c)

$$w^1_{j+1}(k_x, k_y) = \sum_{l_x=-\infty}^{+\infty} \sum_{l_y=-\infty}^{+\infty} g(l_x - 2k_x) h(l_y - 2k_y) f_j(l_x, l_y) \quad (3.38a)$$

$$w^2_{j+1}(k_x, k_y) = \sum_{l_x=-\infty}^{+\infty} \sum_{l_y=-\infty}^{+\infty} h(l_x - 2k_x) g(l_y - 2k_y) f_j(l_x, l_y) \quad (3.38b)$$

$$w^3_{j+1}(k_x, k_y) = \sum_{l_x=-\infty}^{+\infty} \sum_{l_y=-\infty}^{+\infty} g(l_x - 2k_x) g(l_y - 2k_y) f_j(l_x, l_y) \quad (3.38c)$$

Bir görüntünün wavelet dönüşümünün gösterilimi Şekil 3.4 'de yer almaktadır.

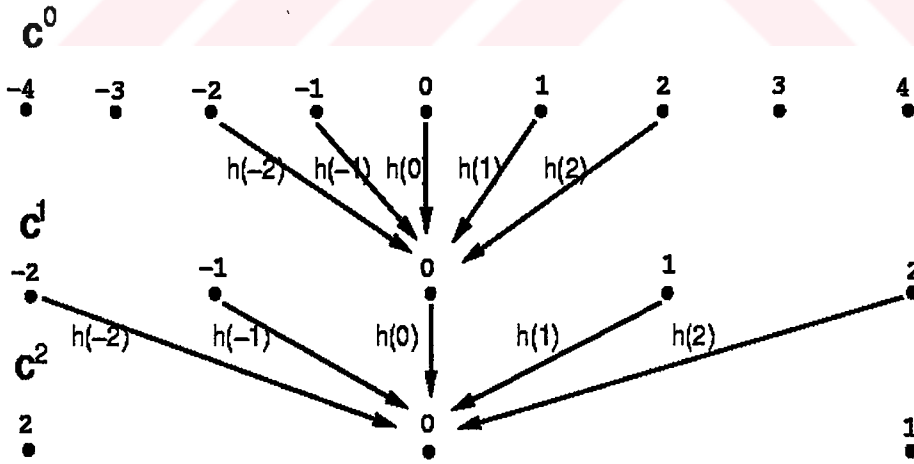
$F^{(2)}$	$j=2$	$j=1$	Yatay Detay $J=0$
$J=2$	$j=2$		
$j=1$	$j=1$		
Dikey Detay $J=0$		Çapraz Detay $J=0$	

Şekil 3.4 : Bir görüntünün wavelet dönüşümü

3.2.2. Laplace piramit algoritması

Bu yöntem görüntü sıkıştırma uygulamalarında kullanılmak üzere ortaya atılmıştır. Filtreleme işleminden sonra her iki örnekten yalnızca biri saklanır diğeri ise atılır. Şekil 3.5 'te görüldüğü gibi piksel sayısı her ölçekte yarıya iner, ve h filtresiyle konvolüsyona devam edilir.

$$c_{j+1}(k) = \sum_l h(l-2k) c_j(l) \quad (3.39)$$



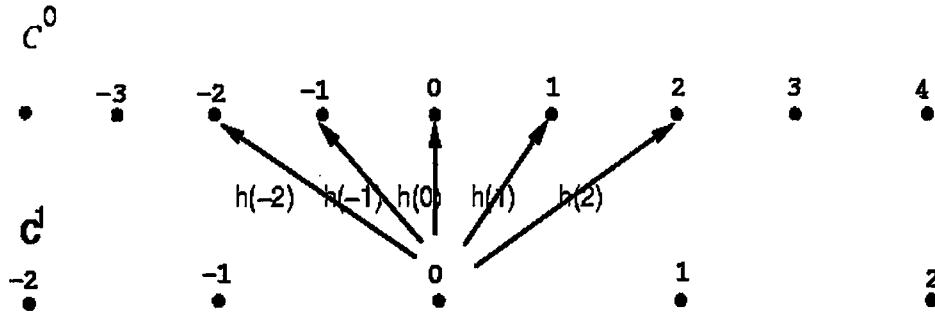
Şekil 3.5 : Laplace piramit algoritmasında ayrıştırma

c_{j+1} kullanılarak c_j 'nin elde edilmesi için fark işareti w_{j+1} 'in hesaplanması gerekir.

$$w_{j+1}(k) = c_j(k) - \tilde{c}_j(k) \quad (3.40)$$

$$\tilde{c}_j(k) = 2 \sum_l h(k-2l) c_j(k) \quad (3.41)$$

Yeniden oluşturma sırasında C_1 'den C_0 'a geçiş Şekil 3.6 'te görülmektedir.



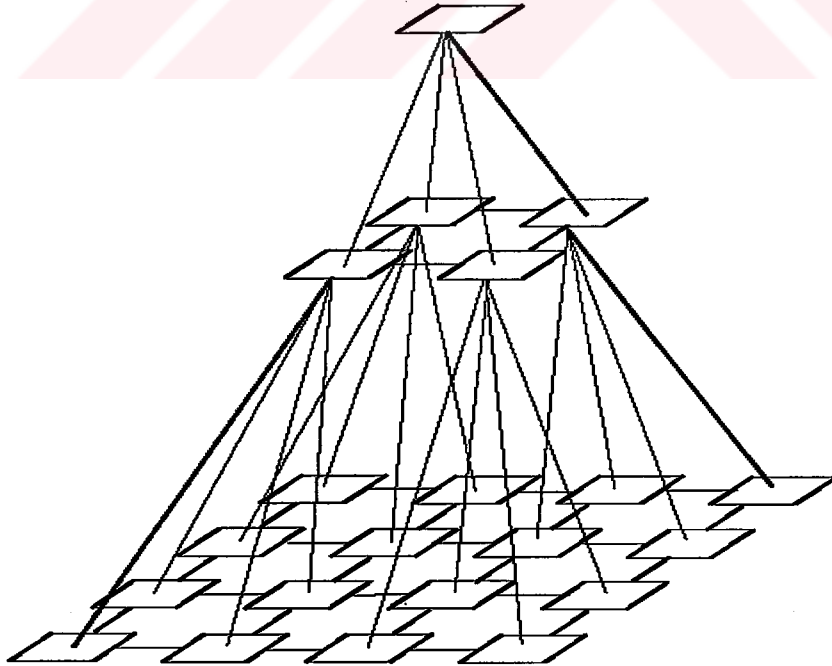
Şekil 3.6 : Laplace piramit algoritmasında yeniden oluşturma

İki boyutta da yöntem benzerdir, yine konvolüsyon sonucunda elde edilen her iki örnekten biri saklanır, ancak bu işlem iki boyutta gerçekleştirilir. Böylece

$$c_{j+1}(n, m) = \sum_{k, l} h(k - 2n, l - 2m) c_j(k, l) \quad (3.42)$$

$$\tilde{c}_j(n, m) = 2 \sum_{k, l} h(n - 2k, m - 2l) c_{j+1}(k, l) \quad (3.43)$$

elde edilir. Her adımda görüntünün piksel sayısının dörtte birine düştüğü iki boyutlu bu piramit yapısı Şekil 3.7 'te görülmektedir.



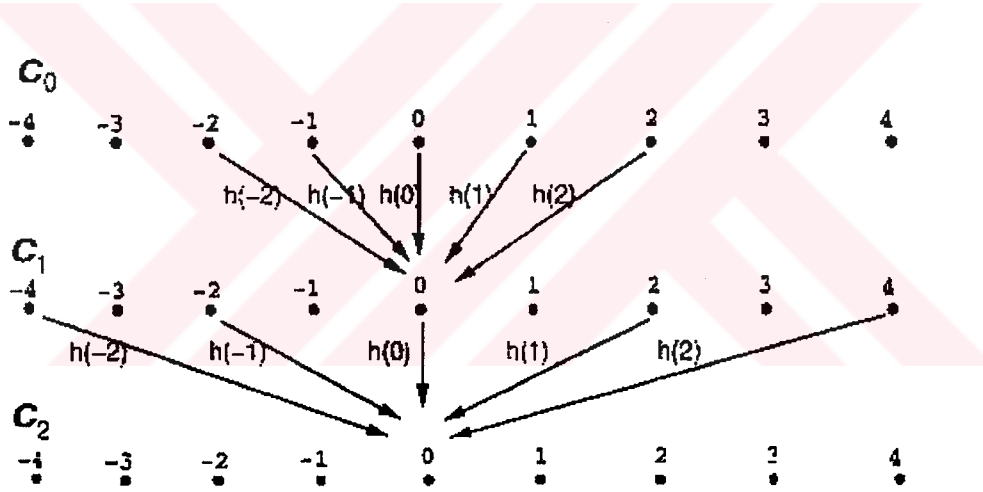
Şekil 3.7 : İki boyutta piramit yapısı

3.2.3. “à trous” algoritması

Ayrık wavelet dönüşümü, özel bir biçimde uygulandığında boşluklu veya delikli adı da verilen “à trous” algoritması ortaya çıkmaktadır. $\{c_0(k)\}$, k ıncı pikselde $f(x)$ fonksiyonu ile, alçak geçiren filtreye karşı düşen $\phi(x)$ ölçekleme fonksiyonunun, skaler çarpımı olmak üzere, ilk filtreleme adımında ölçek iki katına çıkarken $\{c_1(k)\}$ elde edilir. $\{c_0(k)\}$ - $\{c_1(k)\}$ yani iki ard arda ölçekteki işaretlerin farkı, ölçekler arasındaki bilgiyi içerir ve $\phi(x)$ 'e karşı düşen wavelet dönüşümlerinden oluşan bir ayrık kümedir. $\psi(x)$, kullanılan wavelet olmak üzere

$$\frac{1}{2}\psi\left(\frac{x}{2}\right) = \phi(x) - \frac{1}{2}\phi\left(\frac{x}{2}\right) \quad (3.44)$$

Bir ölçekten sonraki ölçeğe geçerken örnekler arasındaki mesafe ikinin katları şeklinde artar, bu durumda $c_i(k)$ (3.45) biçiminde verilir. Bu ayrıştırma yöntemi ile C_0 'dan, C_1 'e ve C_1 'den, C_2 'ye geçiş Şekil 3.8 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : “à trous” algoritması ile ayrıştırma

$$c_i(k) = \sum_l h(l) c_{i-1}(k + 2^{i-1}l) \quad (3.45)$$

Bu durumda ayrık wavelet dönüşümü $w_i(k)$ da

$$w_i(k) = c_{i-1}(k) - c_i(k) \quad (3.46)$$

biçimindedir. $\{h(k)\}$ katsayıları ölçekleme fonksiyonu $\phi(x)$ 'den (3.47) ile elde edilir.

$$\frac{1}{2}\phi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_l h(l)\phi(x-l) \quad (3.47)$$

Alt bandlara ayrıştırılmış olan işareti tekrar oluşturmak için, en son adımda elde edilmiş olan işaret c_{np} 'ye tüm adımlar boyunca elde edilen fark işaretlerinin herbiri, w_j 'ler eklenir. Bu işlem (3.48) te gösterilmiştir.

$$c_0(k) = c_{n_p}(k) + \sum_{j=1}^{n_p} w_j(k) \quad (3.48)$$

Ölçekleme fonksiyonu, ϕ olarak üçgen fonksiyon seçilirse

$$\begin{aligned} \phi(x) &= 1 - |x|, \quad x \in [-1, 1] \\ \phi(x) &= 0, \quad x \notin [-1, 1] \end{aligned} \quad (3.49)$$

biçimindedir. (3.47) ifadesinden yola çıkılırsa bu ölçekleme fonksiyonu için (3.50) bağıntısı geçerli olur.

$$\frac{1}{2}\phi\left(\frac{x}{2}\right) = \frac{1}{4}\phi(x+1) + \frac{1}{2}\phi(x) + \frac{1}{4}\phi(x-1) \quad (3.50)$$

Böylece $c_1(k)$, (3.51) ile elde edilirken, aynı biçimde $c_{j+1}(k)$ da $c_j(k)$ kullanılarak (3.52) ifadesiyle elde edilir.

$$c_1(k) = \frac{1}{4}c_0(k-1) + \frac{1}{2}c_0(k) + \frac{1}{4}c_0(k+1) \quad (3.51)$$

$$c_{j+1}(k) = \frac{1}{4}c_j(k-2^j) + \frac{1}{2}c_j(k) + \frac{1}{4}c_j(k+2^j) \quad (3.52)$$

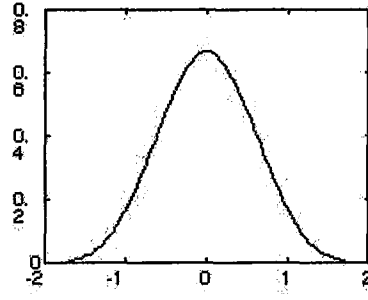
Bu durumda wavelet katsayıları (3.53) daki gibi olacaktır.

$$w_{j+1}(k) = -\frac{1}{4}c_j(k-2^j) + \frac{1}{2}c_j(k) - \frac{1}{4}c_j(k+2^j) \quad (3.53)$$

Bu algoritma iki boyutlu uzaya taşındığında, 3x3 boyutlu bir makse ile konvolüsyona karşı düşer, bu katsayılar (3.54) de görülmektedir.

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{8} & \frac{1}{16} \end{pmatrix} \quad (3.54)$$

Her j ölçeğinde $\{ w_j(k,l) \}$ kümesi elde edilir, bu küme görüntü ile aynı piksel sayısına sahiptir ve wavelet düzlemi olarak adlandırılır.



Şekil 3.9 : B-3 spline

$$\beta^3(x) = \begin{cases} \frac{2}{3} - \frac{1}{2}|x|^2 \cdot (2 - |x|) & ; 0 \leq |x| < 1 \\ \frac{1}{6}(2 - |x|)^3 & ; 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & ; 2 \leq |x| \end{cases} \quad (3.55)$$

Ölçekleme fonksiyonu olarak (3.55) ifadesi ile verilen B_3 -spline seçilirse bir boyutta kullanılacak olan filtre katsayıları (3.47) kullanılarak $\frac{1}{16}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{16}$ biçiminde bulunmuştur. Bu işlem iki boyuta taşındığında ise konvolüsyonda kullanılacak iki boyutlu filtre katsayıları (3.56) biçimdedir.

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{3}{128} & \frac{1}{32} & \frac{3}{64} & \frac{1}{32} & \frac{3}{128} \\ \frac{1}{64} & \frac{1}{16} & \frac{3}{32} & \frac{1}{16} & \frac{1}{64} \\ \frac{1}{256} & \frac{1}{64} & \frac{3}{128} & \frac{1}{64} & \frac{1}{256} \end{pmatrix} \quad (3.56)$$

4. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME ALGORİTMALARI VE UYGULAMASI

4.1. IHS Dönüşüm Yöntemi

Bölüm 2.3'te anlatılan IHS dönüşümü farklı biçimlerde tanımlanabilir, tüm tanımlarda H ve S değerleri I, parlaklık değerinin tanımından bağımsız olacaktır, değişen yalnızca parlaklığın ifadesidir. (4.1 a-d) ifadeleri farklı parlaklık tanımlarını göstermektedir, Bölüm 2.3 'teki işlemler (4.1d) tanımı için geçerlidir.

$$I = maks(R, G, B) \quad (4.1a)$$

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (4.1b)$$

$$I = \frac{maks(R, G, B) + \min(R, G, B)}{2} \quad (4.1c)$$

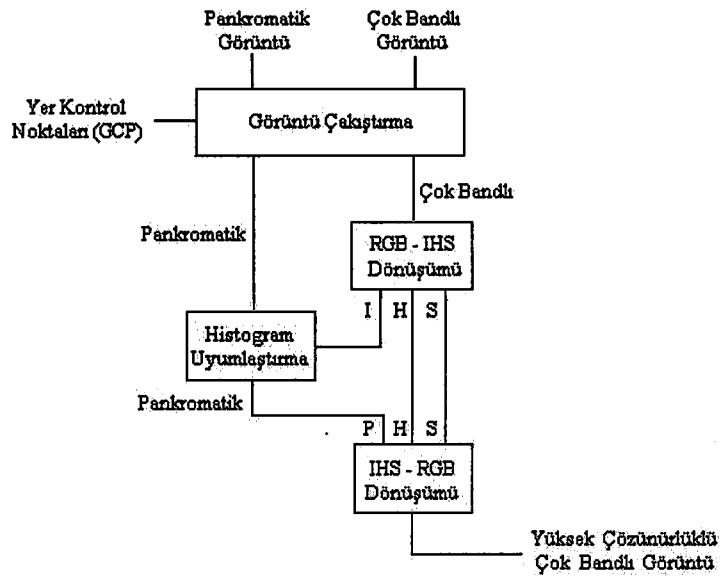
$$I = \frac{R + G + B}{\sqrt{3}} \quad (4.1d)$$

(4.1a) ile verilen ilk tanımda sistemde, parlaklık hesaplanırken bileşenlerden ikisi göz ardı edilmektedir. Saf renkler (255,0,0) ve beyaz (255,255,255) eşit parlaklık değeri üretir. Bu sistem Smith altıgeni olarak bilinir, buna karşılık smith üçgen modeli olarak bilinen ikinci sistem ise saf renkler için 85, beyaz için 255 üretir. (4.1c) ile belirtilen üçüncü sistemde beyaz 255 iken , saf renkler 125 parlaklık değerine sahip olmaktadır. Üçüncü tanıma dayalı dönüşüm algoritması bazı durumlarda tuhaf davranışlar göstermektedir. Örneğin RGB değerleri (100,150,200) olan bir piksele bu yöntemle IHS dönüşümü yapılır, I bileşenine 10 eklenir ve ters dönüşüm uygulanırsa sonuçta elde edilen RGB değerleri (115,160,205) olmaktadır. Burada en düşük değere sahip olan R, en yüksek artıma ; en yüksek değere sahip olan B ise en düşük artıma sahiptir. Diğer taraftan yine aynı RGB değerlerine sahip piksel için ikinci (4.1b) tanıma dayalı dönüşüm uygulandığında ve I bileşenine 10 eklenerek ters dönüşüm gerçekleştirildiğinde sonuç (107,160,213) olarak belirlenir ki, bu durumda düşük değerli R, az artmış, yüksek değerli B çok artmıştır, bu daha tutarlı bir sonuçtur.

Bölüm 2.3 'deki IHS dönüşümü kullanıldığında, standart görüntü birleştirme yöntemi olarak adlandırılır. Bu yöntemin adımları şöyledir :

- 1) Düşük çözünürlüklü çok bandlı görüntünün, yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü ile üst üste çakıştırılması için her iki görüntü üzerinde karesel ortalama hata 0.25 pikselden az olacak biçimde kontrol noktaları seçilerek, konumsal dönüşüm ve ardından interpolasyon uygulanarak her iki görüntüde örtüşen bölgede çakıştırma işleminin gerçekleştirilmesi.
- 2) Çok bandlı görüntünün R, G, B bandlarının I, H, S bileşenlerine dönüştürülmesi.
- 3) Çok bandlı görüntünün spektral özelliklerini göz önüne alarak, farklı atmosfer ve aydınlatma koşulları altında elde edilmiş görüntülerin histogramlarının uygunlaştırılması (pankromatik görüntünün histogramının IHS dönüşümü sonucunda ortaya çıkan I bileşeninin histogramına göre düzeltilmesi)
- 4) IHS formundaki çok bandlı görüntünün I bileşeni yerine, P pankromatik görüntünün konması.
- 5) Görüntüye ters dönüşüm uygulanarak IHS formatından tekrar RGB formatına dönüştürülmesi

Elde edilen yeni RGB formatındaki çok bandlı görüntü, düşük çözünürlüklü çok bandlı ve yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntülerin birleştirilmesi ile ortaya çıkan, yüksek çözünürlüklü görüntüdür. Bu yöntemde I bileşeni yerine P görüntüsü yerleştirilerek ters dönüşüm gerçekleştirildiği için konumsal çözünürlük iyileşir ancak sonuç görüntüsünde pankromatik bileşenin baskın olması nedeniyle, çok bandlı görüntünün getirdiği spektral özelliklerin korunması mümkün olmaz. Bu yöntemle ilgili akış şeması Şekil 4.1 de görülmektedir



Şekil 4.1 : IHS dönüşüm yöntemi ile görüntü birleştirme

4.2. Wavelet Dönüşüm Yöntemleri

Wavelet dönüşümü bir çok farklı yöntemle gerçekleştirilebilir, ancak her yöntem, her problemler için uygun değildir. Örneğin, çok çözünürlüklü analiz bölümünde verilen Mallat algoritması ortonormallik üzerine kuruludur, ancak öteleme ile değişmezlik özelliğini sağlamaz, bu da işaret analizi, doku tanıma ve görüntü füzyonu gibi konularda problem yaratmaktadır.

Görüntülerde öteleme ile değişmezlik özelliğini sağlayan ayrık wavelet ayrıştırmasını elde etmek için Starck ve Murtagh 'ın kullandığı “à trous” (boşluklu) algoritması olarak bilinen yöntem kullanılmıştır. Burada p görüntüsünün, B_3 – kübik spline profiline sahip ölçekleme fonksiyonundan elde edilen filtre ile özel biçimde konvolüsyonu söz konusudur. Wavelet düzlemleri ardışık iki adımda elde edilen görüntünün farkı biçiminde tanımlanır.

$$F_1(p) = p_1, \quad F_2(p_1) = p_2, \quad F_3(p_2) = p_3, \quad \dots \quad (4.2)$$

$$w_l(p) = p_{l-1} - p_l \quad (l = 1, \dots, n) \quad p_0 = p \quad (4.3)$$

Bu tanımdan yola çıkarak yeniden oluşturma bağıntısı şu şekilde verilir

$$p = \sum_{l=1}^n w_l + p_r \quad (4.4)$$

(4.3) 'te, p_l ($l = 1, \dots, n$) original görüntü p 'nin artan ölçek ve düşen çözünürlükte elde edilen alt bandları ; w_l ($l = 1, \dots, n$) her bir ölçekteki wavelet düzlemleri ; p_r ise ayrıştırma sonucunda geriye kalan görüntü olmaktadır. Bu ayrıştırma yönteminde, p_0 , orijinal görüntü p_1 'in ; p_1 de p_2 'nin iki katı çözünürlüktedir, ancak alt örnekleme adımı gerçekleştirilmediğinden her bir adımdaki wavelet düzlemi orijinal görüntü ile eşit sayıda piksele sahip olur. Bu, boşluklu “à trous” algoritmasının ortogonal olmayan, aşırı örneklenmiş duruma karşı düşmesini açıklamaktadır.

Yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntünün ilk wavelet düzlemleri, çok spektralli görüntüde var olmayan konum detay bilgisini taşımaktadır. Bu nedenle wavelet temeline dayalı birleştirme teknikleri bu bilginin çok bantlı görüntüye aktarılmasına imkan verir. Bu bölümde, wavelet katsayılarının yerlerinin değiştirilmesi yöntemi ve toplamsal yöntemin, RGB ve I bileşenlerine uygulanması ile ortaya çıkan 4 farklı yöntem anlatılmıştır.

4.2.1. RGB bileşenlerinde yerdeğiştirme yöntemi (WRGB)

Bu yöntemde, Bölüm 4.1'de incelenen IHS yönteminde de olduğu gibi, düşük çözünürlüğe sahip çok bandlı görüntünün, yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü ile piksel bazında çakıştırılması, ardından pankromatik görüntünün, parlaklık bileşeni I kullanılarak histogramının düzeltilmesi gerekir. Detay bilgisinin çıkarılması ve çok bandlı görüntüye aktarılması ise wavelet dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemin adımları şöyledir :

- 1) Pankromatik görüntü referans olmak üzere çok bandlı görüntünün pankromatik ile eşit sayıda piksel sayısına sahip olacak biçimde yeniden örneklenerek çakıştırılması.
- 2) Çok bandlı görüntünün IHS dönüşümünün alınması
- 3) Pankromatik görüntünün histogramının I parlaklık bileşeninin histogramına göre düzeltilmesi
- 4) R, G ve B bandlarından oluşan çok spektralli görüntünün “à trous” algoritması kullanılarak n adet wavelet düzlemine ayrıştırılması. (n=2 veya n=3 olabilir)

$$R = \sum_{l=1}^n w_{Rl} + R_r \quad (4.5a)$$

$$G = \sum_{l=1}^n w_{Gl} + G_r \quad (4.5b)$$

$$B = \sum_{l=1}^n w_{Bl} + B_r \quad (4.5c)$$

Burada, w_{Rl} , w_{Gl} , w_{Bl} , her band için hesaplanan wavelet düzlemlerini ; R_r , G_r , B_r ise, ayrıştırma sonucu geride kalan görüntüyü göstermektedir.

- 5) Pankromatik, yüksek çözünürlüklü görüntünün aynı biçimde w_{Pl} , wavelet düzlemleri ; PAN_r , residü görüntü olmak üzere ayrıştırılması

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{Pl} + PAN_r \quad (4.6)$$

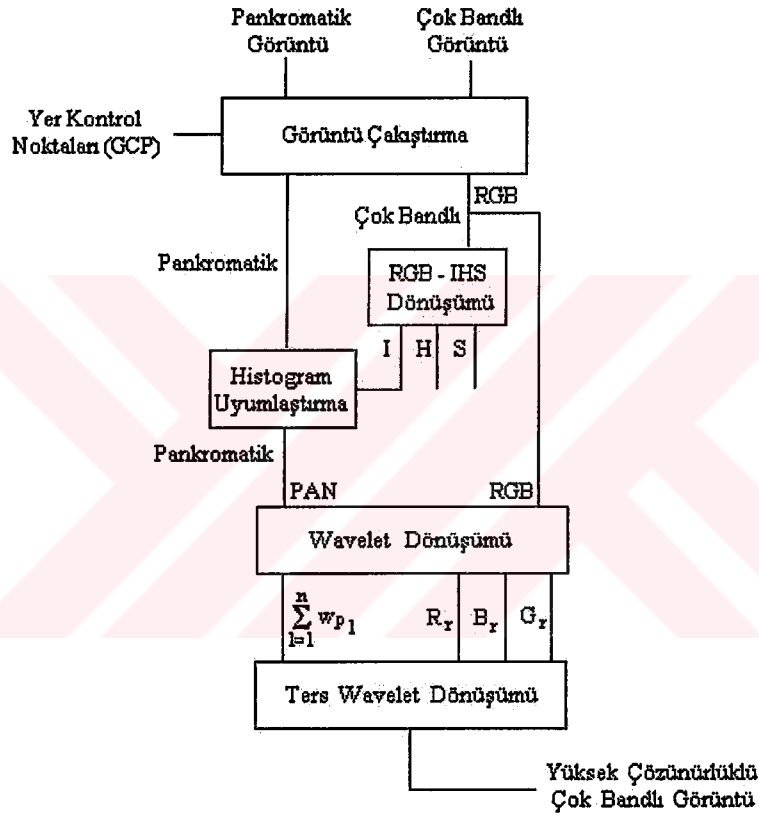
- 6) R,G ve B için elde edilen wavelet düzlemlerinin, pankromatik görüntüden elde edilenler ile değiştirilmesi ve ters wavelet dönüşümünün uygulanması.

$$R_n = \sum_{l=1}^n w_{p_l} + R_r \quad (4.7a)$$

$$G_n = \sum_{l=1}^n w_{p_l} + G_r \quad (4.7b)$$

$$B_n = \sum_{l=1}^n w_{p_l} + B_r \quad (4.7c)$$

R_n , G_n , B_n , algoritma sonucu elde edilen birleşmiş görüntünün yeni R, G, B değerleridir. Bu yöntemin blok şeması Şekil 4.2 de görülmektedir.



Şekil 4.2 : WRGB yönteminin blok şeması

4.2.2. RGB bileşenlerinde toplamsal yöntem (AWRGB)

Bu yöntem ile yerdeğiştirme yöntemindeki ilk üç adım ortaktır. Farklı olan R, G, B, bandları için wavelet düzlemleri hesaplanmadan, pankromatik görüntünün wavelet düzlemleri doğrudan R, G, B bileşenlerinin kendisine eklenerek yeni değerler elde edilmektedir. Böylece pankromatik görüntünün detay bilgisi eklenirken, R, G ve B bandlarının özellikleri de korunmuş olur. Yöntemin adımları şu şekildedir :

- 1) Çok bandlı görüntünün yeniden örneklenmesi ve çakıştırılması
- 2) Çok bandlı görüntünün IHS dönüşümü
- 3) Pankromatik görüntünün histogramının I bileşenine göre düzeltilmesi
- 4) Pankromatik görüntünün wavelet düzlemlerine ayrıştırılması.

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{Pl} + PAN_r \quad (4.8)$$

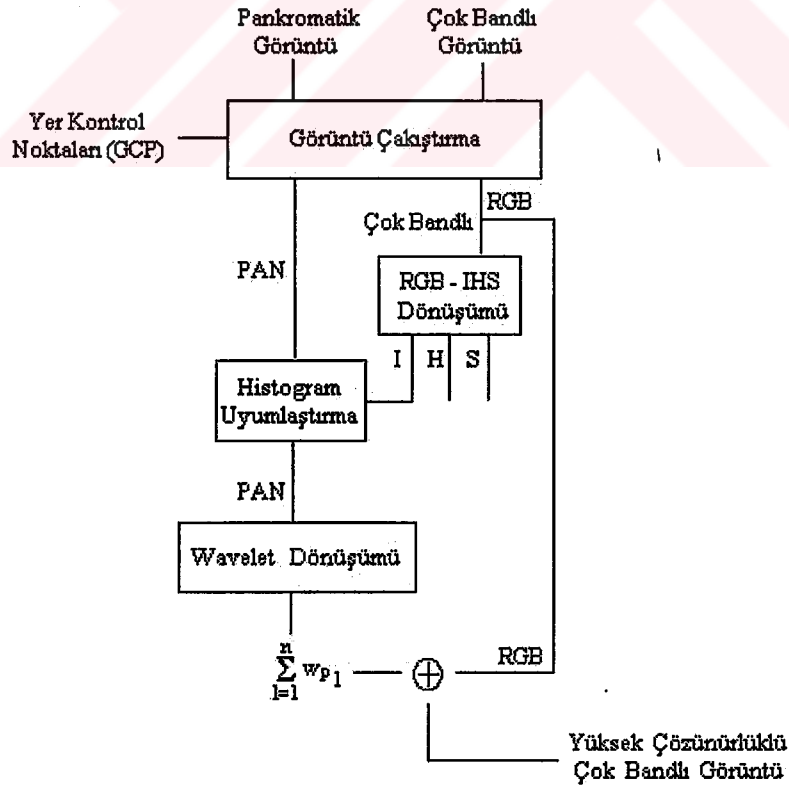
- 5) Pankromatik görüntüden elde edilenler wavelet düzlemlerinin doğrudan R, G, B, bandlarına eklenmesi.

$$R_n = \sum_{l=1}^n w_{Pl} + R \quad (4.9a)$$

$$G_n = \sum_{l=1}^n w_{Pl} + G \quad (4.9b)$$

$$B_n = \sum_{l=1}^n w_{Pl} + B \quad (4.9c)$$

Burada, R_n , G_n , B_n , algoritma sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü birleşmiş görüntünün R,G,B değerleridir. Bu yöntemin blok şeması Şekil 4.3 te görülmektedir.



Şekil 4.3 : AWRGB yönteminin blok şeması

4.2.3. Parlaklık bileşeninde yerdeğiştirme yöntemi (WI)

- 1) Çok bandlı görüntünün yeniden örneklenmesi ve çakıştırılması
- 2) Çok bandlı görüntünün IHS dönüşümü
- 3) Pankromatik görüntünün histogramının I bileşenine göre düzeltilmesi
- 4) Pankromatik görüntünün wavelet düzlemlerine ayrıştırılması

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{Pl} + PAN_r \quad (4.10)$$

- 5) I, parlaklık bileşeninin wavelet düzlemlerine ayrıştırılması

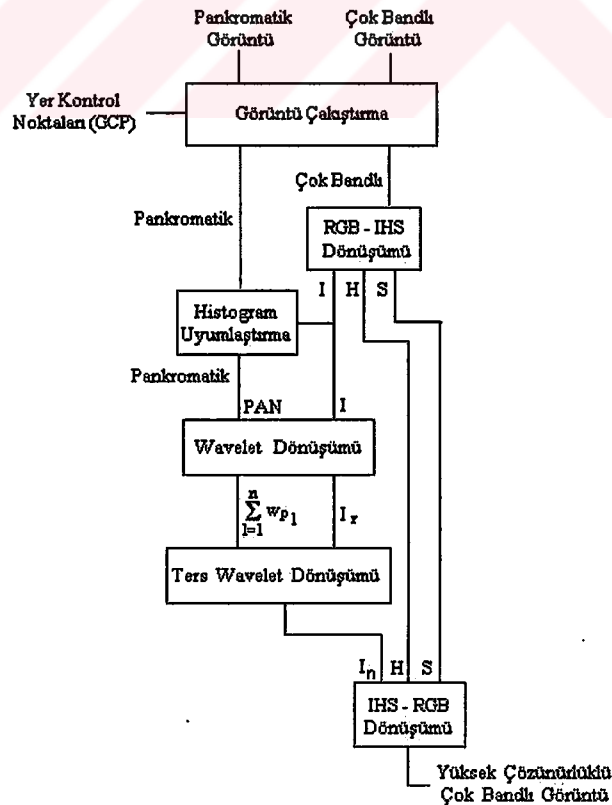
$$I = \sum_{l=1}^n w_{Il} + I_r \quad (4.11)$$

- 6) Pankromatik görüntüden elde edilenler wavelet düzlemlerinin parlaklık bileşeninden elde edilenler ile değiştirilmesi ve ters wavelet dönüşümünün gerçekleştirilmesi. I_n , elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntünün I bileşenidir.

$$I_n = \sum_{l=1}^n w_{Pl} + I_r \quad (4.12)$$

- 7) Yeni parlaklık bileşeni I_n kullanılarak RGB dönüşümünün gerçekleştirilmesi.

Bu yöntemin blok şeması Şekil 4.4 te görülmektedir.



Şekil 4.4 : WI yönteminin blok şeması

4.2.4. Parlaklık bileşeninde toplamsal yöntem (AWI)

- 1) Çok bandlı görüntünün yeniden örneklenmesi ve çakıştırılması
- 2) Çok bandlı görüntünün IHS dönüşümü
- 3) Pankromatik görüntünün histogramının I bileşenine göre düzeltilmesi
- 4) Pankromatik görüntünün wavelet düzlemlerine ayrıştırılması

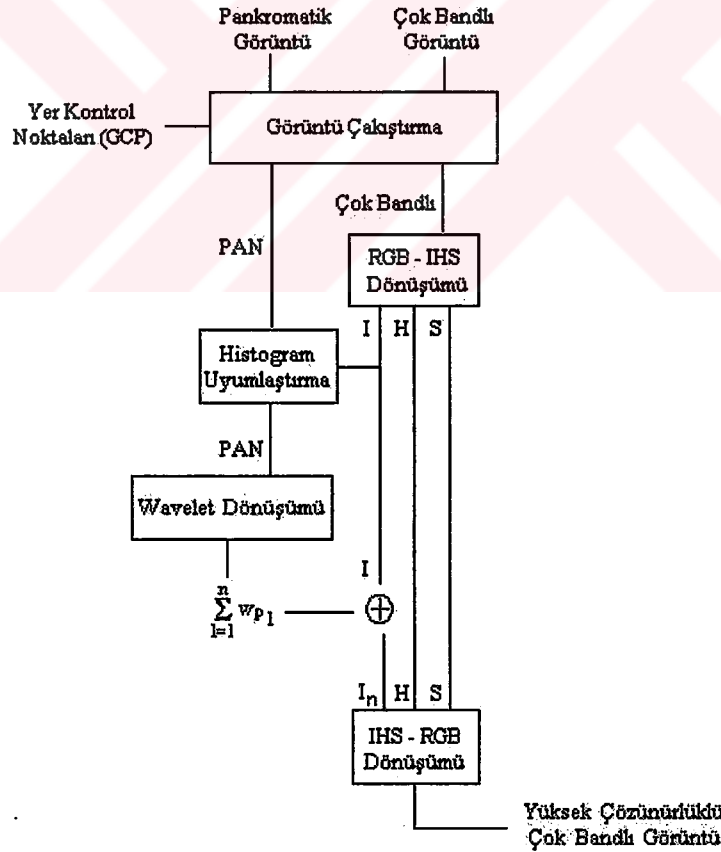
$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{p_l} + PAN_r \quad (4.13)$$

- 5) Pankromatik görüntüden elde edilenler wavelet düzlemlerinin, parlaklık bileşeni I'ya ayrıştırma uygulanmadan doğrudan eklenmesi.

$$I_n = \sum_{l=1}^n w_{p_l} + I \quad (4.14)$$

- 6) Yeni parlaklık bileşeni I_n kullanılarak RGB dönüşümünün gerçekleştirilmesi.

Bu yöntemin blok şeması Şekil 4.5 te görülmektedir.



Şekil 4.5 : AWI yönteminin blok şeması

4.3. Uygulama Ve Değerlendirme

Bu bölümde, Bölüm 4.1 ve 4.2’de anlatılan tüm yöntemler, SPOT, LANDSAT ve IRS uydularından elde edilmiş görüntülere uygulanmış, yöntemlerin verdikleri sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kullanılan uydu verilerinin ilki Amerika’nın Washington kentinin SPOT pankromatik ve Landsat-TM çok bandlı görüntülerinden oluşan çifttir. SPOT verisi 10 m çözünürlüğe sahip iken, Landsat verisinin 30 m çözünürlüğü ancak 6 spektral bandı mevcuttur. Diğer bir görüntü çifti ise, aynı bölgeye ait SPOT-P ve SPOT-XS dir. Bu kez 3 spektral banda sahip olan görüntünün çözünürlüğü 20m 'dir.

Yöntemlerin başarımının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için farklı özelliklere sahip bölgelerden elde edilmiş verilere de uygulanması uygun olacağından, benzer biçimde İstanbul, Atatürk Havalimanı bölgesinin SPOT-P , Landsat-TM ve SPOT-P , SPOT-XS veri çiftleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Buradaki, Landsat-TM verisi de 30 m çözünürlüğü, 6 spektral banda sahiptir ; SPOT-P 10 m çözünürlüklü ve tek bandlı iken ; SPOT-XS verisinin ise 20 m çözünürlüğü ve 3 spektral bandı mevcuttur. Bu, SPOT-XS ve SPOT-P verileri aynı yörüngeden ve aynı zamanda, ancak farklı algılayıcılar (HRV-1 ve HRV-2) ile elde edilmiştir.

Ayrıca, buradaki yöntemlerin yalnızca SPOT ve Landsat verilerinin birleştirilmesi ile sınırlı olmadığını göstermek amacıyla, yine aynı bölgenin IRS uydusu ile elde edilmiş 5 m çözünürlüklü pankromatik ve 20 m çözünürlüklü SPOT-XS verileri de kullanılarak yöntemler uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu uygulamaların gerçekleşmesi için gerekli adımlar iki gruba ayrılabilir. İlk kontrol noktaları seçilerek bir görüntünün diğer bir görüntü ile piksel düzeyinde karşılaştırılması, ikinci grup ise geriye kalan tüm adımlardır. İlk gruptaki işlemler, PCI Works adlı yazılım paketinin GCP Works modülü ile gerçekleştirilmiştir. İkinci grupta yer alan ve görüntü birleştirme algoritmalarının uygulanmasını, sonuçların elde edilip değerlendirilmesini kapsayan işlemler ise, C++ programlama dilinde geliştirilmiştir. Her iki işlem grubu da IRIX 6.5 işletim sistemi kullanan Silicon Graphics Octane iş istasyonu platformunda gerçekleşmiştir.

Görüntü çiftlerinin birleştirilmesi sonucunda, düşük konum çözünürlüğüne ve yüksek spektral çözünürlüğe sahip, çok bandlı görüntülere, yüksek konum çözünürlüğü bilginin eklenmesi ile hem konum hem de spektral çözünürlükleri yüksek çok bandlı görüntüler elde edilir. Burada amaç, çözünürlüğü arttırırken spektral özellikleri de korumaktır, çünkü uzaktan algılama uygulamalarının çoğu spektral özelliklerin incelenmesine dayanmaktadır. Birleştirme algoritmalarının başarımı, bu özelliklerin ne kadarının korunduğu ve çözünürlüğün ne kadar iyileştiği ile ölçülür. Bu değerlendirmeleri elimizde mevcut olan verileri kullanarak yapabilmek için, öncelikle bu verilerin çözünürlüklerinin azaltılması gerekir, örneğin 10 m SPOT-P ve 30 m Landsat-TM verilerinden 30 m ve 90 m çözünürlüklü görüntüler oluşturulur, sonra bu çifte birleştirme algoritmaları uygulanır. Sonuç olarak elde edilen 30 m çözünürlüğe sahip çok bandlı görüntü, orjinal 30m Landsat-TM verisi ile karşılaştırılır. Bu, düşük çözünürlükte karşılaştırma, Bölüm 4.3.1 de tüm örnek görüntü çiftleri için gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Düşük çözünürlükte görüntü birleştirme ve başarımların değerlendirilmesi

Bu bölümde, Bölüm 4.1 ve 4.2’de anlatılan algoritmalar tüm görüntü çiftlerine uygulanacak ve sonuçlar değerlendirilecektir. Öncelikle, genelde karşılaşılan problem farklı algılayıcı sistemlerin görüntülerinin birleştirilmesi olduğu için Washington bölgesinin SPOT ve Landsat görüntüleri incelenecektir. Landsat verisi daha önce de belirtildiği gibi 6 banda sahiptir, algoritmaların uygulanabilmesi için öncelikle RGB sistemine dönüştürülmesi gerekir. Bunu gerçekleştirecek bağıntılar (4.15a-c) ile verilmiştir.

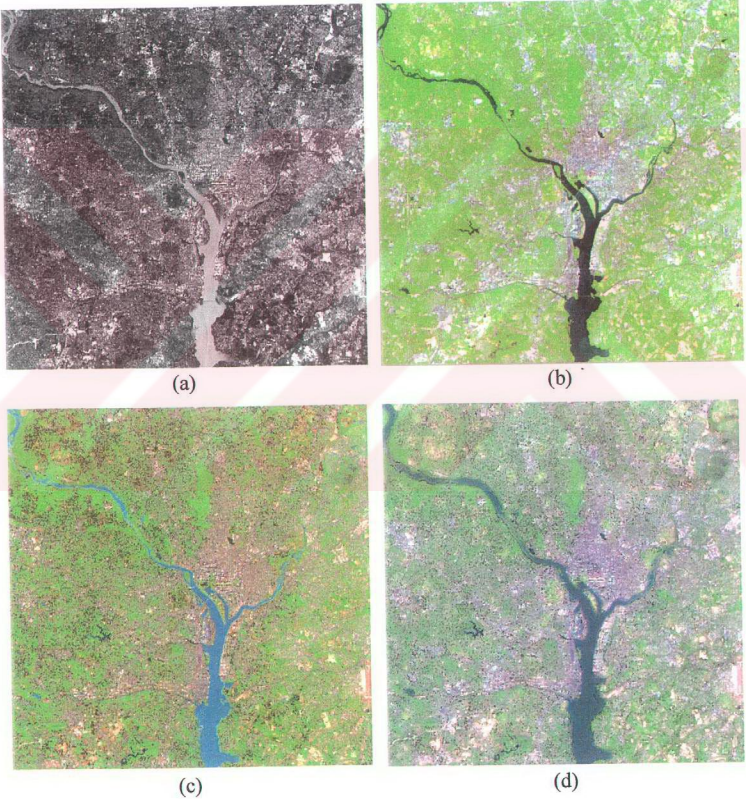
$$R = \frac{B_5 + B_7}{2} \quad (4.15a)$$

$$G = \frac{B_3 + B_4}{2} \quad (4.15b)$$

$$B = \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (4.15c)$$

RGB üç bandlı sisteme dönüştürme işleminden sonra $k=3$ ile alt örnekleme yapılarak 30 m ve 90 m çözünürlüğe sahip görüntüler oluşturulmuş ardından tüm algoritmalar uygulanmış ve elde edilen sonuçlar orijinal görüntü ile

karşılaştırılmıştır. Alt örnekleme ile oluşturulan 30 ve 90 m çözünürlüklü giriş verileri , birleştirme işlemi sonucunda ortaya çıkan 30 m çözünürlüklü görüntüler ve orijinal 30 m Landsat-TM görüntüsü Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 'de görülmektedir. Görüntülerdeki çözünürlük artışı gözle görülür düzeydedir, ancak önemli olan spektral özelliklerin de korunmasıdır. Bunun ölçütü olarak, her bir band için ayrı ayrı, orijinal görüntü ile farklı algoritmalar kullanılarak birleştirilmiş görüntülerin piksel düzeyinde korelasyon katsayısı hesaplanmıştır, bu değerin 1'e yakın olması spektral özelliklerin korunduğunu gösterir. Sonuçlar Tablo 4.1 'de verilmiştir.



Şekil 4.6 : Washington (a) 30m çözünürlüklü SPOT-P (b) 90m çözünürlüklü Landsat-TM (c) IHS yöntemi sonucu (d) WRGB yöntemi sonucu



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.7 : Washington (a) AWRGB yöntemi sonucu (b) WI yöntemi sonucu
(c) AWI yöntemi sonucu (d) Orijinal Landsat-TM verisi (30m)

Tablo 4.1: Washington Landsat-TM ve SPOT-P için korelasyon katsayıları

	R	G	B
IHS / TM	0.70	0.36	0.37
WRGB / TM	0.73	0.61	0.72
AWRGB / TM	0.80	0.71	0.78
WI / TM	0.81	0.63	0.68
AWI / TM	0.82	0.71	0.77

Bu sonuçlardan görüldüğü gibi wavelet dönüşümüne dayalı yöntemler, IHS yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemler kendi aralarında incelenecek olursa, yer değiştirme yöntemine göre, toplamsal yöntemler daha yüksek korelasyon sonuçları verirken, bu iki yöntemin RGB bileşenleri yerine I bileşenine uygulanması sonuçları çok fazla etkilememektedir. Ancak, bu örnek için en iyi sonucun AWI yani toplamsal wavelet yönteminin parlaklık bileşenine uygulanması ile elde edildiği görülmektedir. Bu yöntemde, wavelet katsayılarının toplamsal uygulanması ile pankromatik görüntüden gelen detay bilgisi eklenirken, spektral özelliklerin taşındığı diğer bileşenlerden bilgi çıkarılmadığı için daha iyi sonuç elde edilmiştir. Korelasyon katsayısının 0.8 civarında olmasının sebebi, birleştirilmek üzere kullanılan uydu verilerinin, farklı görüntüleme sistemlerinden dolayısıyla farklı yörünge ve zamanlarda alınmış olmasıdır. Görüntüleme zamanları arasında bölgede değişimlerin gerçekleşmiş olması olasıdır.

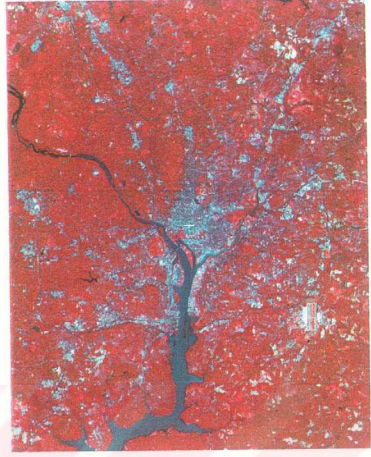
İkinci görüntü çifti, yine aynı bölgeden alınmış SPOT-P (10m) ve SPOT-XS (20m) görüntüleridir. Bu kez, $k=2$ ile alt örnekleme yapılarak oluşturulan 20 ve 40m çözünürlüğe sahip verilere uygulanan wavelet temelli algoritmalar benzer sonuçlar vermektedir, ancak IHS yönteminde bir önceki örneğe göre daha yüksek korelasyon değerleri bulunmuştur. Bu sonuçlar Tablo 4.2 'de görülmektedir. Bu görüntü çiftinin örtüşen bölgesi daha geniş bir alanı kapsamaktadır, dolayısıyla bölge genişlemiş ve spektral özellikler de değişmiştir. Bu durum, IHS yönteminin spektral özelliklere olan duyarlılığını göstermektedir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 'da alt örnekleme ile oluşturulmuş giriş verileri, birleştirme yöntemleri uygulanarak oluşturulmuş 20m çözünürlüklü çıkış görüntüleri ve orijinal SPOT-XS görüntüsü yer almaktadır.

Tablo 4.2 : Washington SPOT-XS ve SPOT-P için korelasyon katsayıları

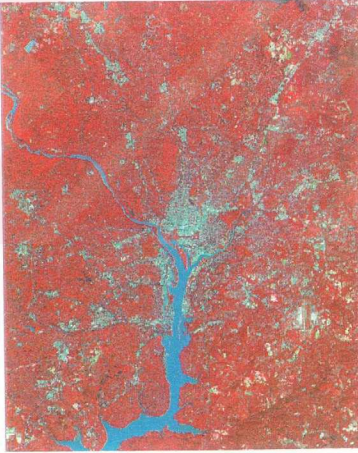
	R	G	B
IHS / XS	0.59	0.69	0.59
WRGB / XS	0.59	0.68	0.68
AWRGB / XS	0.78	0.78	0.77
WI / XS	0.71	0.75	0.65
AWI / XS	0.77	0.82	0.75



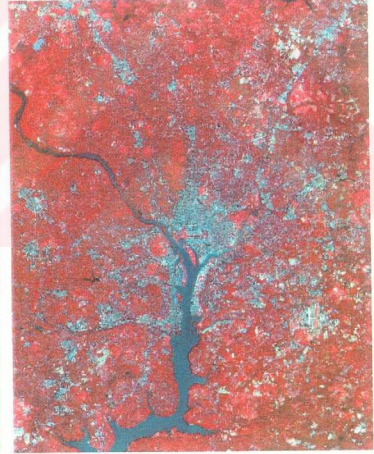
(a)



(b)

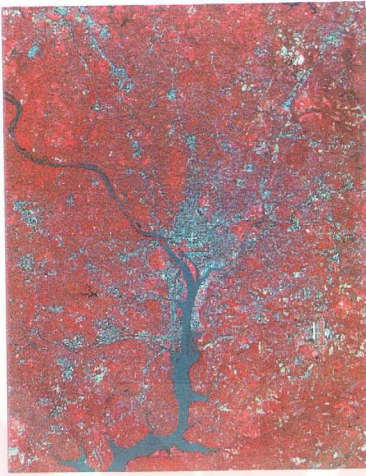


(c)



(d)

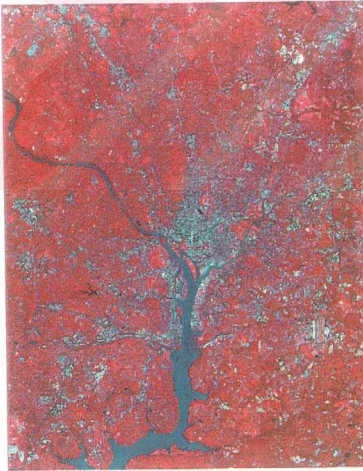
Şekil 4.8 : Washington (a) 20 m çözünürlüklü SPOT-XS (b) 40 m çözünürlüklü SPOT-P (c) IHS yöntemi sonucu (d) WRGB yöntemi sonucu



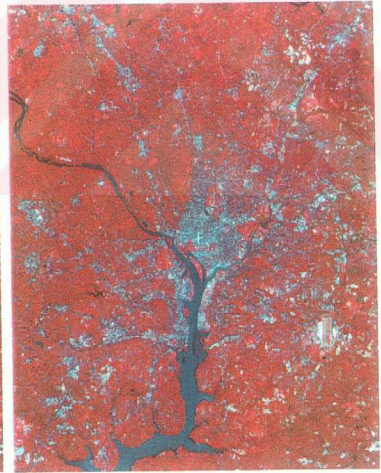
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.9 :(a) AWRGB yöntemi sonucu (20m) (b) WI yöntemi sonucu (20m)
(c) AWI yöntemi sonucu (20m) (d) Orijinal SPOT-XS verisi (20m)

İstanbul, Atatürk Havaalanı bölgesinden alınmış olan Landsat-TM (30m) ve SPOT-P (10m) görüntülerine de, ilk örneklerde olduğu gibi tüm yöntemler uygulanmış ve sonuçlar bu kez farklı spektral özelliklere sahip olan bu bölge için incelenmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar Tablo 4.3 'te görülmektedir. Düşük çözünürlüklü giriş verileri, birleştirme sonucunda oluşturulan 20m çözünürlüklü görüntüler ve orijinal Landsat-TM görüntüsü Şekil 4.10 'da yer almaktadır. Çözünürlükte, gözle görülür bir iyileşme farkedilmektedir. Tablo 4.3 incelenirse, bu kez IHS ile wavelet yöntemleri arasındaki farkın azaldığı, bu görüntü için IHS 'nin de iyi sonuç verdiği, ancak halen AWI yönteminin başarımının IHS 'ye göre daha fazla olduğu belirlenir.

Tablo 4.3 : Havaalanı Landsat-TM ve SPOT-P için korelasyon katsayıları

	R	G	B
IHS / TM	0.84	0.83	0.74
WRGB / TM	0.93	0.91	0.82
AWRGB / TM	0.93	0.92	0.82
WI / TM	0.93	0.93	0.81
AWI / TM	0.94	0.93	0.82

Farklı yörüngelerden veri alınmasına rağmen korelasyonun yüksek olması, zaman içinde bölgenin spektral özelliklerinde değişiklik olmadığı anlamını taşır. IHS yönteminin sonuçlarının bu bölge için iyi çıkması, bir anlamda spektral özelliklere olan bağımlılığı gösterir niteliktedir.

Aynı bölgeye ait SPOT-P (10m) ve SPOT-XS (20m) görüntüleri kullanılarak yapılan incelemede elde edilen sonuçlar Tablo 4.4 'te yer alırken, giriş görüntüleri ve birleştirme sonucunda oluşturulan görüntüler Şekil 4.11 'de görülmektedir. Burada kullanılan iki giriş verisi aynı yörüngeden aynı anda alınmıştır, bu korelasyon değerlerinin yüksek olmasını açıklar. Yöntemlerin sonuçları da birbirine oldukça yakındır, bu durumda yöntemler arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapmak da mümkün olmaz.

Tablo 4.4 : Havaalanı SPOT-XS ve SPOT-P görüntüleri için korelasyon katsayıları

	R	G	B
IHS / XS	0.90	0.89	0.84
WRGB / XS	0.91	0.90	0.87
AWRGB / XS	0.91	0.90	0.86
WI / XS	0.92	0.90	0.86
AWI / XS	0.94	0.90	0.85



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

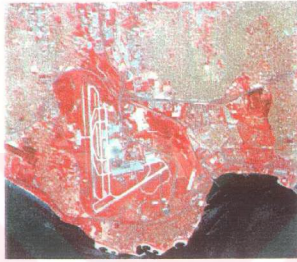
Şekil 4.10 : İstanbul Havaalanı (a) 30m SPOT-P verisi (b) 90m Landsat-TM verisi
(c) IHS yöntemi (d) WRGB yöntemi (e) AWRGB yöntemi
(f) WI yöntemi (g) AWI yöntemi (h) Orijinal Landsat-TM verisi



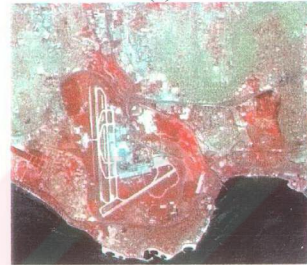
(a)



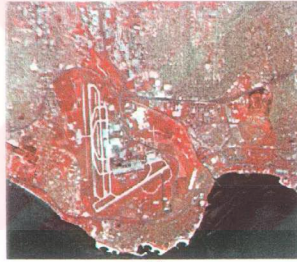
(b)



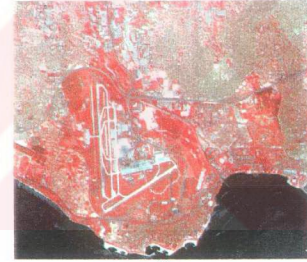
(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



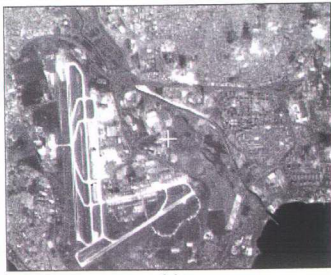
(h)

Şekil 4.11 : İstanbul Havaalanı (a) 20m SPOT-P verisi (b) 40m SPOT-XS verisi
(c) IHS yöntemi (d) WRGB yöntemi (e) AWRGB yöntemi
(f) WI yöntemi (g) AWI yöntemi (h) Orijinal SPOT-XS verisi

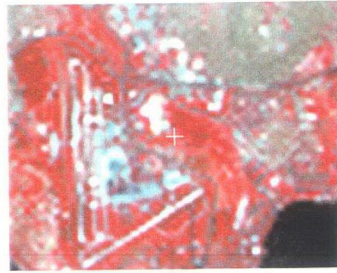
Son olarak, yine havaalanı bölgesinin 5m çözünürlüklü IRS-1C, pankromatik görüntüsü ve 20 m çözünürlüklü SPOT-XS görüntüsü kullanılarak, bu yöntemlerin farklı algılayıcılardan elde edilen verileri birleştirmede de kullanılabileceği gösterilmek istenmiştir. Giriş verilerinde $k = 4$ ile alt örnekleme yapıldıktan sonra 20m ve 80m çözünürlüğe sahip olan verilerden yola çıkılarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen 20m çözünürlüklü çok bandlı görüntü, orijinal 20m SPOT-XS ile karşılaştırılmıştır. Bu görüntüler Şekil 4.12 'de yer almaktadır. Elde edilen korelasyon katsayıları da Tablo 4.5'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre, farklı uydu sistemlerinden dolayısıyla farklı yörünge ve zamanlarda alınan görüntülerin korelasyonlarının önceki örneğe göre az olması beklenen bir sonuçtur. IHS dönüşüm yönteminin sonuçları, diğer yöntemlere göre daha kötü olmasına karşın, yöntemleri değerlendirmeye yetecek kadar net bir fark söz konusu değildir.

Tablo 4.5 : Havaalanı SPOT-XS ve IRS-P için korelasyon katsayıları

	R	G	B
IHS / XS	0.77	0.79	0.70
WRGB / XS	0.79	0.81	0.78
AWRGB / XS	0.82	0.83	0.81
WI / XS	0.83	0.83	0.78
AWI / XS	0.84	0.84	0.81



(a)



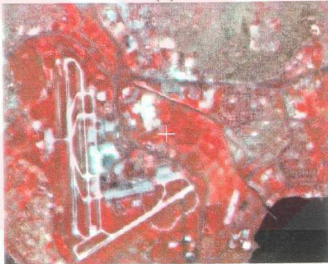
(b)



(c)



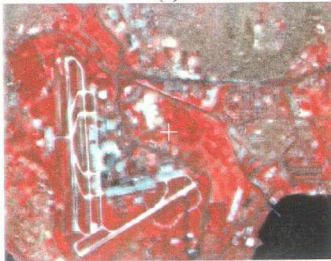
(d)



(e)



(f)



(g)

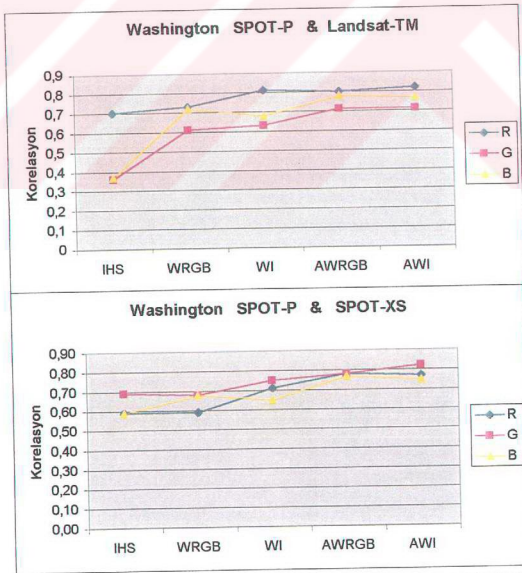


(h)

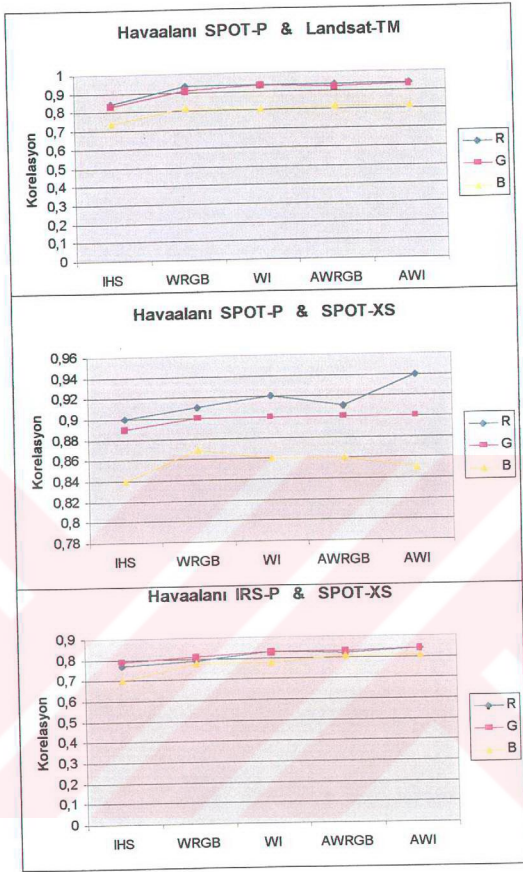
Şekil 4.12 : İstanbul Havaalanı (a) 20m IRS-P verisi (b) 80m SPOT-XS verisi
(c) IHS yöntemi (d) WRGB yöntemi (e) AWRGB yöntemi
(f) WI yöntemi (g) AWI yöntemi (h) Orijinal SPOT-XS verisi

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan uygulamalar ile Washington bölgesinde elde edilen sonuçlar, Şekil 5.1 'de ; İstanbul Havaalanı bölgesinin sonuçları ise Şekil 5.2 'de görülmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde, wavelet temelli yöntemlerin standart birleştirme yöntemine göre spektral özelliklerin korunması açısından daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Wavelet dönüşümüne dayalı bu yöntemler arasında toplamsal yöntemler, yer değiştirme yöntemlerine göre daha iyidir. Toplamsal wavelet yönteminin, RGB bileşenleri yerine parlaklık bileşenine uygulanması ise sonuçları fazla değiştirmemektedir. Yakın veya eş zamanlı algılanmış verilerin sonuçlarına bakıldığında ise, yöntemler arasındaki farkın azaldığı yöntem seçiminin önemini yitirdiği görülmür. Ancak, uygulamalarda ihtiyaç duyulan uydu görüntüleri genellikle farklı zamanlarda ve farklı sistemler ile algılandıkları için, seçilecek birleştirme yöntemi sonuçların doğruluğu açısından çok önemli olacaktır.



Şekil 5.1 : Washington görüntüsünde yöntemlerin başarımı (a) SPOT-P & LANDSAT-TM (b) SPOT-P & SPOT-XS



Şekil 5.2 : İstanbul Havaalanı görüntüsünde yöntemlerin başarımı (a) SPOT-P & Landsat-TM (b) SPOT-P & SPOT-XS (c) IRS-P & SPOT-XS

Buradaki sonuçları, değerlendirmenin bir diğer yolu da, birleştirilmiş görüntülerin kullanıldığı uygulamalardaki başarımlarına bakmak olacaktır. Örneğin, bu veriler sınıflandırma için kullanılacak ise ; spektral özelliklerin çok çeşitli olduğu çalışma bölgeleri seçilebilir, bölgelerdeki gerçek sınıflar arazi çalışması ile belirlenebilir ve bu yöntemlerden elde edilen sonuç görüntüleri sınıflandırılabilir. Gerçeğe en uygun sonucu veren yöntem bu uygulama için en iyi yöntem olacaktır. Uygulamaya yönelik olarak, kullanılacak spektral bandların seçimine de dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Welch, R. and Ehlers, M., 1987. Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TM Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **53-3**, 301-303.
- [2] Carper, W.J. , Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 1990. The Use of Intensity - Hue - Saturation Transformations for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **56-4**, 459-467.
- [3] Chavez, P.S. , Sides, S.C. and Anderson, J.A., 1991. Comparison of Three Different Metods to Merge Multiresolution and Multispectral Data : Landsat TM and SPOT Panchromatic, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **57-3**, 295-303.
- [4] Duport, B.G. , Girel, J. , Chassery, J.M. and Pautou, G., 1996. The Use of Multiresolution Analysis and Wavelets Transform for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **62-9**, 1057-1066.
- [5] Ranchin, T. and Wald, L., 1998. Sensor fusion to improve the spatial resolution of images : The ARSIS method, *Future Trends in Remote Sensing*, Gudmandsen, Balkema, Rotterdam. 445-451.
- [6] Aiazzi, B. , Alparone, L. , Argenti, F. and Baonti, S., 1999. Wavelet and pyramid techniques for multisensor data fusion : a performance comparison varying with scale ratios, EUROPTO Conference on Image and Signal Processing for Remote Sensing V, Florence, Italy , September 1999, 251-262
- [7] Chibani, Y. and Houacine, A., 1999. Color Space and Wavelet Transform for Merging Multispectral and Panchromatic SPOT Images , EUROPTO Conference on Image and Signal Processing for Remote Sensing V, Florence, Italy , September 1999, 306-314
- [8] Nunez, J. , Otazu, X. , Fors, O. , Prades, A. , Pala, V. and Arbiol, R. , 1999. Multiresolution-Based Image Fusion with Additive Wavelet Decomposition, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, **37-3**, 1204-1211.
- [9] Li, J. , 2000. Spatial Quality Evaluation of Fusion of Different Resolution Images , *International Archives of ISPRS Congress XIX* , Amsterdam 2000 16-23 July 2000, pp.339-346.

- [10] **Starck, J.L. , Murtagh, F. and Bijaoui, A.**, 1998. Image Processing and Data Analysis, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- [11] **Vetterli, M. and Kovacevic, J.**, 1995. Wavelets and Subband Coding, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [12] **Prasad, L. and Iyengar, S.S.** , 1997. Wavelet Analysis with Applications to Image Processing, CRC Press, Boca Raton.
- [13] **Castleman, K.R.** ,1996. Digital Image Processing , Prentice-Hall Inc. , Upper Saddle River.
- [14] **Chui, C.K.** , 1992. An Introduction to Wavelets, Academic Press, Boston.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul, Üsküdar'da doğan Kaan ERŞAHİN, ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamlamıştır. 1995 yılında İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümüne girmiş, 1999 yılında bu bölümden mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 1999 yılında İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak göreve başlamış, halen İ.T.Ü. Uzaktan Algılama Uydu Yer İstasyonu'nda (İ.T.Ü.-SAGRES) görev yapmaktadır.