İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMADA GELİŞTİRİLMİŞ TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Altuğ DOĞANLARLIOĞLU

Anabilim Dalı : Elektronik Haberleşme

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMADA GELİŞTİRİLMİŞ TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Altuğ DOĞANLARLIOĞLU
504071312

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sedef KENT (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Işın ERER (İTÜ)
Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ (YTÜ)

HAZİRAN 2009

Anneme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bilgisi ve deneyimi ile beni yönlendiren kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Sedef KENT'e, sıkılmadan tüm sorularımla ilgilenen Sayın Araş. Gör. Necip Gökhan KASAPOĞLU'na ve elinden geldiği hatta gelmediği her konuda desteğini esirgemeyen biricik annem Sayın Hayriye DOĞANLARLIOĞLU'na teşekkür ederim.

Mayıs 2009

Altuğ Doğanlarlıoğlu

Telekomünikasyon Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ YÖNTEMİ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME **3**
2.1 Temel Bileşen Analizi 3
2.2 Görüntü Birleştirme 5
3. DURAĞAN AYRIK WAVELET DÖNÜŞÜMÜ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME **7**
3.1 Wavelet Analizi 7
3.2 Ayrık Wavelet Dönüşümü (DWT) 8
3.3 Sürekli Wavelet Dönüşümü (CWT) 11
3.4 Durağan Ayrık Wavelet Dönüşümü (SWT) 12
3.5 Görüntü Birleştirme 13
4. GELİŞTİRİLMİŞ TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ YÖNTEMİ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME **15**
5. UYGULAMALAR **17**
5.1 SPOT 4 Uydu Sistemi Ve Görüntü Özellikleri 17
5.2 Uygulama Görüntüleri 19
5.3 Karşılaştırma Yöntemleri 20
5.3.1 PAN görüntü ile korelasyon 20
5.3.2 MS bandlar ile korelasyon 21
5.3.3 Ortalamadan sapma 22
5.3.4 Fark görüntülerinin orijinal ortalamaya göre standart sapması 22
5.3.5 Ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) 22
5.3.6 Bağıl ortalama spektral hata (RASE) 22
5.3.7 Bağıl boyutsuz evrensel birleştirme hatası (ERGAS) 23
5.4 Uygulama Sonuçları 23
6. SONUÇ VE YORUMLAR **31**
KAYNAKLAR **33**
EKLER **37**

KISALTMALAR

CWT	**:** Continuous Wavelet Transform
DWT	**:** Discreet Wavelet Transform
ERGAS	**:** Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthese
GCP	**:** Ground Control Points
HRV	**:** High Resolution Visible
IHS	**:** Intensity Hue Saturation
MS	**:** Multispektral
MSS	**:** Multispektral Scanner
PAN	**:** Pankromatik
PCA	**:** Principle Component Analysis
RGB	**:** Red Green Blue
RM	**:** Relative Shift in the Mean
RMSE	**:** Root Mean Square Error
SDD	**:** Standard Deviation of Difference Image
SWT	**:** Stationary Wavelet Transform
TBA	**:** Temel Bileşen Analizi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : SPOT 2 uydusunun bandları ve çözünürlükleri 19
Çizelge 5.2 : Birleştirilen görüntünün uzaysal ve spektral kalitelerinin farklı analiz parametrelerine göre aldığı değerler..... 24

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Matris formundan vektör forma geçiş. 3
Şekil 2.2 : TBA birleştirme yöntemi 6
Şekil 3.1 : Bir boyutlu işaret ve ona ait zaman - ölçek grafiği 7
Şekil 3.2 : 8 elemanlı bir dizi için 3 seviyede hesaplanan ortalama ve detay katsayıları 9
Şekil 3.3 : 2 seviyeli wavelet ayrıştırması ve yeniden yapılandırması 10
Şekil 3.4 : 1 seviyeli durağan wavelet ayrıştırması yeniden yapılandırması 13
Şekil 3.5 : Wavelet görüntü birleştirmesi 14
Şekil 4.1 : Geliştirilmiş Temel Bileşen Analizi ile görüntü birleştirme 15
Şekil 5.1 : Bir geçişte görünütülenen şerit genişlikleri 17
Şekil 5.2 : Stereo görüntüleme. 18
Şekil 5.3 : PAN görüntü ve MS görüntü. 20
Şekil 5.4 : Laplasyen Filtre. 21
Şekil 5.5 : Farklı birleştirme yöntemlerine göre elde edilen ERGAS değerleri. 25
Şekil 5.6 : MS görüntü, PAN görüntü, TBA birleştirme sonucu. 26
Şekil 5.7 : Birinci ve ikinci seviye wavelet, geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu 28
Şekil 5.8 : Üçüncü seviye wavelet ve geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu 29
Şekil A.1 : Atatürk Havalimanı MS görüntü , PAN 42
Şekil A.2 : Atatürk Havalimanı MS görüntü, TBA, birinci seviye wavelet ve birinci geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu. 43
Şekil A.3 : Atatürk Havalimanı ikinci seviye wavelet ve geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu. 44

UZAKTAN ALGILAMADA GELİŞTİRİLMİŞ TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

ÖZET

Son yıllarda uydularla uzaktan algılamanın kullanım alanı ve uygulamaları, uydu ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak hızlı bir biçimde değişmiştir. Günümüz algılama sistemleri, yüksek çözünürlüklü görüntü işleme özelliğine sahiptirler, ancak bu sistemlerde sistemin kendisinden kaynaklanan sınırlamalar vardır. Spektral çözünürlükleri yüksek verilerin uzaysal çözünürlüğü düşük olmaktadır (bu durumun tersi de geçerlidir). Sınıflandırma ve cisim algılama gibi çalışmalarda bu iki tip çözünürlüğün de yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle P.S. Chavez'in görüntü birleştirmede ortaya koyduğu yüksek geçiren filtre işleminden bu yana çeşitli görüntü birleştirme metotları geliştirilmiştir. Bu metotların ortak yanı, elde edilen uzaysal çözünürlüğü yüksek görüntüyü, multispektral görüntünün içine yerleştirmektir.

Bu tezde amaçlanan, multispektral verinin temel bileşen analizi yapıldıktan sonra birinci temel bileşenin dalgacık ayrıştırması sonrasında elde edilen katsayılarına, uzaysal çözünürlüğü yüksek, histogramı eşlenmiş, pankromatik verinin detay bilgilerini eklemektir. Karşılaştırmada referans yöntem olarak durağana dalgacık birleştirmesi ve temel bileşen analizi birleştirmesi seçilmiştir. Wavelet ayrıştırmasında alt örneklemesiz algoritma kullanılmış ve sonuçlar hem uzaysaysal hem de renksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu birleştirme yöntemleri Systeme Pour l'Observation de la Terre (SPOT) alınan ve uzaysal çözünürlük oranları 1/2 olan SPOT XI (MS) ve SPOT M (PAN) resimlerine uygulanmış, yöntemin geçerliliği sayısal ve görsel olarak irdelenmiştir. Elde edilen bulgular, geliştirilmiş temel bileşen yönteminin birleştirme sonrası spektral bilginin korunmasında standard temel bileşen yöntemi ve durağan dalgacık algorirtmasından daha başarılı olduğunu göstermiştir.

FUSION OF IMAGES USING IMPROVED PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS IN REMOTE SENSING

SUMMARY

The use of satellite remote sensing and its applications have been developing in recent years parallel satellite and computer technology. Althoug,h today's sensor systems have high resolution capability, these systems heve limitations of their own. High spektral resolutions datas have low spatial resolutions (and vice versa). These two kind of resolutions should be high when analysing patterns and detectin objects . Since Chavez proposed the highpass filtering procedure to fuse multispectral and panchromatic images, several fusion methods have been developed. What is common in these methods are based on injecting panchromatic image with spatial detail into the multispectral one.

In this thesis, it is aimed to add detail information of high spatial resolution, histogram matched, panchromatic data by wavelet decomposition, to the wavelet coefficients first principle components of multispectral data, whose principle components previously analysed. For comparison of methods, undecimated (no downsampling) wavelet fusion and PCA fusion is selected as reference. In improved PCA fusion, undecimated (no downsampling) wavelet algorithm used and results are compared both spatial and spectral. These merging methods tested on SPOT XI (MS) and SPOT M (PAN) images which have a spatial resolution ratio of 1/2 (SPOT = Systeme Pour l'Observation de la Terre), and validatory of the methods are examined both visually and quantitatively. The results show that, improved principle component analysis method is better ,in saving spectral information after merging, than standard principle component analysis method and undecimated wavelet algorithm.

1. GİRİŞ

Optik uzaktan algılama sensörlerinde uzaysal (detay) ve spektral (renk) çözünürlük kavramları birbirleriyle yüksek dereceden ilişkilidir. Tasarımındaki yapısal kısıtlamalar nedeniyle uzaysal ve spektral çözünürlükler arasında bir karşıt ilişki mevcuttur. Genel olarak, farklı yer örtüsü tiplerinin parlaklık bilgisini elektromanyetik tayfın birden fazla bandında yakalayabilen yüksek spektral çözünürlüklü sensörler, yeterli uzaysal çözünürlükte algılama yapamamaktadırlar (bu durumun tersi de geçerlidir).

En yüksek dereceden alt parçalara ayrılmış olan kentsel bölgeler, heterojen orman veya tarım alanları gibi karmaşık şekillerde tanımlama çalışmaları yapabilmek için yüksek uzaysal ve spektral çözünürlüklü görüntülere ihtiyaç duyulmaktadır. Yeryüzü örtüsü tiplerinin (yollar, konutlar, ağaçlar vs. veya sadece ağaçlar arasında farklı türler gibi) ayrıştırılması yüksek spektral çözünürlüklü görüntü ile kolaylaşmaktadır. Öte yandan, her türden yer örtüsü sınırlarının belirlenmesinde ve objelerin tanımlanmasında yüksek uzaysal çözünürlüklü veriler gerekmektedir.

Aynı anda hem uzaysal ve hem de spektral çözünürlüğü yüksek görüntülerin elde edilmesinde, birbirlerini tamamlayıcı özellikleri sayesinde, MS ve PAN görüntülerin birleştirilmesi geleceği parlak bir tekniktir.

Birleştirmede IHS (yoğunluk, renk özü, doygunluk) ve TBA (temel bileşen analizi) en çok bilinen tekniklerdir. Ancak "yerine koyma" temelli bu yöntemler, MS görüntüdeki orijinal spektral bilgiye zarar verirler. Toprak kullanımı, yeryüzü haritalaması gibi spektral bilgiye dayalı sınıflandırma gerektiren konularda, spektral bilgisi değiştirilmiş birleştirme görüntüleri kabul edilemez.

Schowengert'in çalışmasına dayanarak Chavez, yukarıdaki bahsedilen sorunu azaltan bir birleştirme yöntemi önermiştir: yüksek geçiren filtre (YGF) yöntemi. Bu yöntemin ana fikri PAN görüntüden detay bilgisin taşıyan yüksek frekanslı verilerin çıkarılarak PAN ile aynı piksel boyutuna getirilmiş MS görüntüye enjekte etmektir. PAN görüntüsüne uygulanan yüksek geçiren uzaysal filtre ile detayları ortaya çıkarılmış görüntü, MS görüntüye piksel piksel eklenir [Amélioration de la Résolution Spatiale par Injection de Structures (ARSIS) concept].

YGF yöntemi, aynı ilke ile birleştirme yapan birçok yöntemin atası olarak kabul edilebilir: PAN görüntüden alınan detayların MS görüntüye aktarılması. Geçen birkaç yılda, birçok araştırmacı bu ilke ile wavelet dönüşümü, Laplasyen piramit algoritması yada "á trous" wavelet dönüşümü gibi değişik PAN – MS görüntü birleştirme yöntemleri önermiştir.

2008 yılında Jocelyn Chanussot ve çalışma arkadaşları, içinde bu tezin konularını da içeren farklı birleştirme yöntemlerini karşılaştırılmış ve aralarında MS görüntülerin birleştirmesine en uygun konseptin ARSIS olduğunu kabul etmişlerdir.

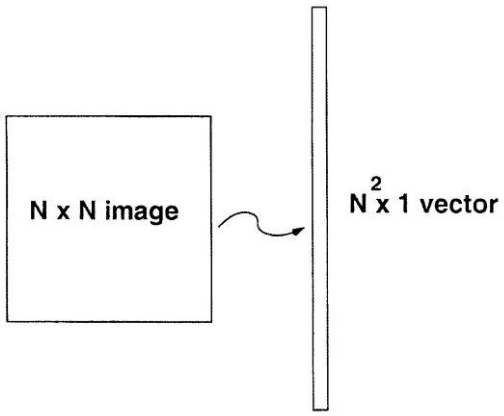
Bu tezin yazımında amaçlanan, görüntü birleştirmede yıllardır kullanılan bir metot olan durağan wavelet dönüşümü (SWT) ve de TBA kullanılarak yapılan birleştirmeler ile daha yeni bir hibrit yöntem olan durağan wavelet ayrıştırması tabanlı TBA birleştirme yöntemlerine ait uygulanama sonuçları karşılaştırılacaktır.

2. TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ YÖNTEMİ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

2.1 Temel Bileşen Analizi

Temel bileşen analizi, karşılıklı ilişkisi olan bir grup değişkeni, aralarında karşılıklı ilişki olmayan başka bir grup değişkene dönüştüren matematiksel bir yöntemdir. Öz-vektörlerden oluşan bu yeni değişkenler asıl veriyi farklı bir biçimde temsil eder. Temel bileşen analizi, gerçek öz vektör bazlı çoklu değişken analizlerinin en basitidir. Çoğu zaman yaptığı iş, veri içindeki varyansları en iyi şekilde ortaya çıkararak verilerin iç yapısını ortaya koymak olarak düşünülebilir. Eğer çok değişkenli bir veri kümesi, her eksen başına bir değişken düşen bir kordinat sistemi olarak düşünülürse, temel bileşen analizi kullanıcıya elindeki veriye dair en bilgilendirici bakış açısını barındıran düşük boyutlu bir gölge resim sunar. Temel bileşen analizi, verileri doğrusal ortogonal bir dönüşüm ile yeni bir kordinat sistemine taşır. Böylece başlangıç verisinden elde edilen en büyük varyans ilk kordinatta yer alır ve birinci temel bileşen olarak kabul edilir.

Temel bileşenlere ayırmada, M. Turk ve A. Pentland'ın anlattığı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde söz konusu farklı bandlardaki uydu görüntülerinin temel bileşenlerini elde etmek olduğunda, matris şeklinde olan bu resimler Şekil 2.1'de gösterildiği gibi öncelikle sütun vektör haline getirilir.



Şekil 2.1 : Matris formundan vektör forma geçiş.

Veri tabanındaki tüm sütun vektörlerin ortalaması hesaplanır.

$$\mathbf{\Psi} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\mathbf{\Gamma}_i \qquad \textbf{(2.1)}$$

Γ_i sütun vektörlerinden ortalama vektörü Ψ çıkarılarak sıfır ortalamalı fark vektörleri (Φ) elde edilir.

$$\mathbf{\Phi}_i = \mathbf{\Gamma}_i - \mathbf{\Psi} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Bu fark vektörleri biraraya getirilerek bir A matrisini oluşturur,

$$\mathbf{A} = \left[\mathbf{\Phi}_1 \mathbf{\Phi}_2 \ldots \mathbf{\Phi}_M\right] \qquad \textbf{(2.3)}$$

ve kovaryans matrisi C aşağıdaki gibi hesaplanır

$$\mathbf{C} = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\mathbf{\Phi}_k \mathbf{\Phi}_k{}^{\mathrm{T}} = \mathbf{A}\mathbf{A}^{\mathrm{T}} \qquad \textbf{(2.4)}$$

ki bu matrisin boyutları (NxN,NxN) hesaplamalarda kullanılmak için oldukça büyüktür. Bunun yerine,

$$\mathbf{L} = \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{A} \qquad \textbf{(2.5)}$$

v_i öz vektörlerini bulmak için (M,M) boyutlu L matrisi kullanılır.

$$\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\ \mathbf{v} = \mu\ \mathbf{v} \qquad \textbf{(2.6)}$$

ve aşağıdaki işlemler gerçekleştirilerek (2.4)te yüklü hesaba gerek duyulmadan kovaryans matrisinin öz vektörleri ($\mathbf{u}$) ve öz değerleri (μ) elde edilmiş olur.

$$\mathbf{A}\left(\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\right)\ \mathbf{v} = \mu\ \mathbf{A}\mathbf{v} \qquad \textbf{(2.7)}$$

$$\mathbf{C}\ \mathbf{A}\mathbf{v} = \mu\ \mathbf{A}\mathbf{v} \qquad \textbf{(2.8)}$$

$$\mathbf{C}\ \mathbf{u} = \mu\ \mathbf{u} \qquad \textbf{(2.9)}$$

Bu öz vektörler (NxN,M), farklı bantlardaki uydu resimleri arasındaki değişikliklerin tanımlandığı özellikler kümesi olarak düşünülebilir. En yüksek öz değerlere sahip öz vektör birinci temel bileşen kabul edilir, diğer öz vektörler de aynı mantıkla sıralanırlar.

Ters dönüşüm hesabı ile öz vektörlerden, farklı bandlardaki uydu görüntüleri geri elde edilebilir. Bunun için önce ortalaması sıfır olan A matrisi,

$$\mathbf{A}\ \mathbf{v}\ \mathbf{v}^{-1} = \mathbf{u}\ \mathbf{v}^{-1} \tag{2.10}$$

$$\mathbf{A}\ \mathbf{I} = \mathbf{u}\ \mathbf{v}^{-1} = \mathbf{A} \tag{2.11}$$

hesaplandıktan sonra, her bir sütun vektörüne ortalama eklenir,

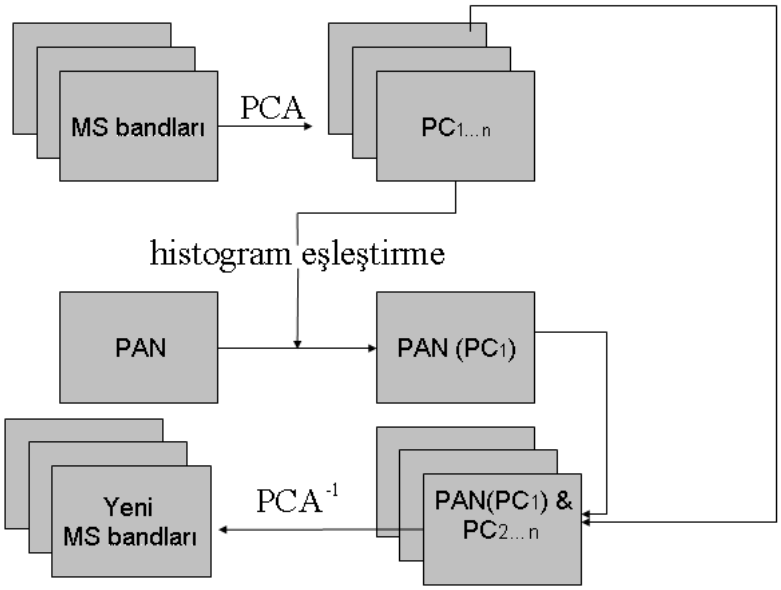
$$\mathbf{\Gamma}_i = \mathbf{\Phi}_i + \mathbf{\Psi} \tag{2.12}$$

Şekil (2.1) deki işlemin tersi gerçekleştirilerek uydu görüntüsünün tüm bandlarına erişilir.

2.2 Görüntü Birleştirme

Çoğu MS sensör, elektromanyetik spektrumun bitişik bantlarından bilgi toplar . Çoğu yer örtüsü tipi spekturumun komşu bandlarında benzer davranışlar gösterir, ki bu da genellikle gereksiz bilgilerin tespit edilmesi anlamına gelir. Bu bağlamda, TBA orijinal bantları sentezleyerek yeni bandlar, temel bileşenleri, oluştururken özgün bilgilerin çoğunu seçer ve yeniden düzenler.

Genel olarak birinci temel bileşen (PC^1), giriş verisi olan tüm bandlarda aynı olan uzaysal bilgiyi kendinde toplarken, her bandın kendine özel spektral bilgisi diğer temel bileşenlerde toplanır. Bu nedenle TBA, MS ve PAN görüntülerin birleştirilmesinde elverişli bir uygulamadır ve orijinal MS görüntüsüne ait tüm bandlar giriş verisi olur. Bu dönüşüm sayesinde birbiri ile ilintisi olmayan yeni bandlar yani temel bileşenler elde edilir. Histogramı PC^1 ile eşlenmiş olan PAN görüntüsü PC^1'in yerini alır. Son olarak, değiştirilmiş PAN görüntüsü ve $PC^2 \ldots PC^M$ lerden oluşan tüm veri setine ters dönüşüm uygulanır ve PAN görüntüye ait uzaysal detayların katıldığı yeni birleştirilmiş bandlar elde edilir.



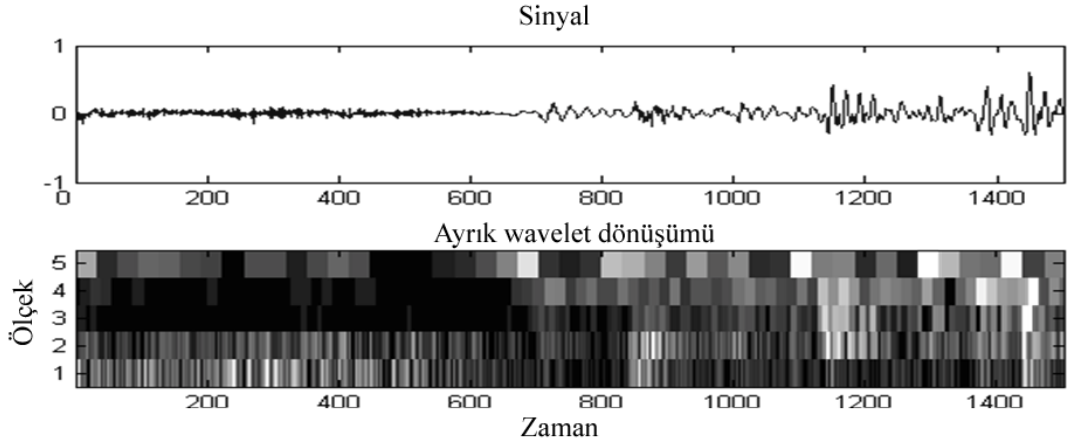
Şekil 2.2 : TBA birleştirme yöntemi.

3. DURAĞAN AYRIK WAVELET DÖNÜŞÜMÜ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

Bu bölümde bir boyutlu ayrık wavelet dönüşümü, oldukça ağır olan matematiğine fazla girilmeden ele alınacak, ardından durağan wavelet dönüşümü ile görüntü birleştirme yöntemi anlatılacaktır.

3.1 Wavelet Analizi

Wavelet (dalgacık) dönüşümü, sürekli zaman işaretlerinin, bir zaman-frekans gösterilimi olarak düşünülebilinir. Hemen hemen bütün ayrık wavelet dönüşümleri ayrık zamanlı filtre bankalarından yararlanırlar. Wavelet terminolojisinde bu filtre bankaları wavelet ve ölçekleme katsayıları olarak çağrılırlar. Bu filtre bankaları sonlu veya sonsuz impulse cevap filtrelerini içerebilirler. Sürekli wavelet dönüşümüne (CWT) biçim veren waveletler, Fourier analizinin örnekleme teorisindeki belirsizlik ilkesine bağlıdırlar: Bir sinyaldeki bir "olay"ın aynı anda zamanı ve frekans cevabı kesin olarak tayin edilemez. Zaman ve frekans cevabı belirsizliklerinin çarpımının bir alt sınırı vardır. Böylece bir sinyalin sürekli wavelet dönüşümünün ölçek grafiğinde bu "olay", Şekil 4.1de gösterildiği gibi yer ve ölçek düzleminde bir nokta değil bir alanı işaret eder.



Şekil 3.1 : Bir boyutlu işaret ve ona ait zaman - ölçek grafiği

3.2 Ayrık Wavelet Dönüşümü (DWT)

Bir görüntünün iki boyutlu wavelet dönüşümü alınırken önce satır boyunca tüm satırlar ve daha sonra sütun boyunca tüm sütunlar, bir ana waveletten elde edilen, yüksek ve alçak geçiren filtrelerden geçirilirler. Bu nedenle iki boyutlu bu algoritmayı tek boyutlu bir algoritma olarak anlatmak mümkündür.

Standart ayrık wavelet dönüşümü, H ve G filtreleri ile D_0 ikili yok etme operatöründen oluşur. H bir alçak geçiren filtre olup h_n dizisinden oluşur. Alçak geçiren bir filtrenin bir x dizisi üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$(Hx)_k = \sum_n h_{n-k} x_n \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bu filtrenin her j tam sayısı için ($j \neq 0$) iç ortogonal ilişkiyi sağladığı

$$\sum_n h_n \cdot h_{n+2j} = 0 \qquad \textbf{(3.2)}$$

ve karelerinin toplamının bir olduğu kabul edilir.

$$\sum_n h_n{}^2 = 1 \qquad \textbf{(3.3)}$$

G yüksek geçiren filtresi ise her n için aşağıdaki dizi ile tanımlanır:

$$g_n = (-1)^n h_{1-n} \qquad \textbf{(3.4)}$$

Aynı şekilde G filtresinin iç ortogonal ilişkiyi her j için sağladığı ise ortak ortogonal ilişki ile gösterilir:

$$\sum_n h_n \cdot g_{n+2j} = 0 \qquad \textbf{(3.5)}$$

Bu ve bu filtrelerin tersi olan filtrelerin yapısı çeyrek evre farkı ayna filtreler (quadrature mirror filters = QMF) şeklinde tanımlanırlar. Bu filtreler kusursuz yeniden yapılandırma için gereklidirler.

İkili yok etme operatörü D_0, her j için basitçe dizinin çift sıra sayılı elemanlarını seçer

$$(D_0 x)_j = x_{2j} \qquad \textbf{(3.6)}$$

Bu operatör, G ve H filtrelerinin ardından kullanılarak 2^m uzunluğundaki bir x dizisini 2^{m-1} uzunluklu bir çift dizi ($D_0 Hx$, $D_0 Gx$) haline getirir. Bu bir ortogonal dönüşümdür.

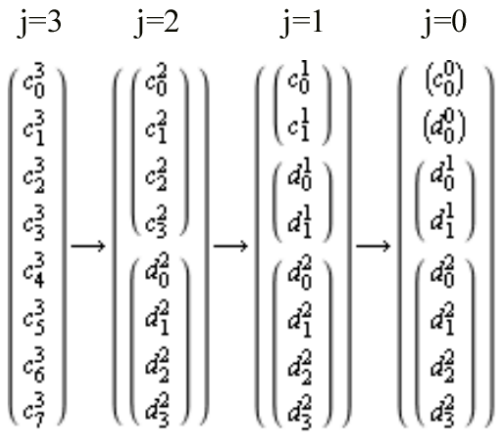
Ayrık wavelet dönüşümü çoklu çözünürlüklü analizin bir türevi olup, aşağıdaki gibi gerçekleştirilir. Bunun için önce j seviyesinde ortalama (düşük frekanslı katsayılardan oluşan) c^j dizisi tanımlansın.

$$c_n^j = c_n \quad , \quad n = 0,1,2,\ldots,2^j - 1 \qquad \textbf{(3.7)}$$

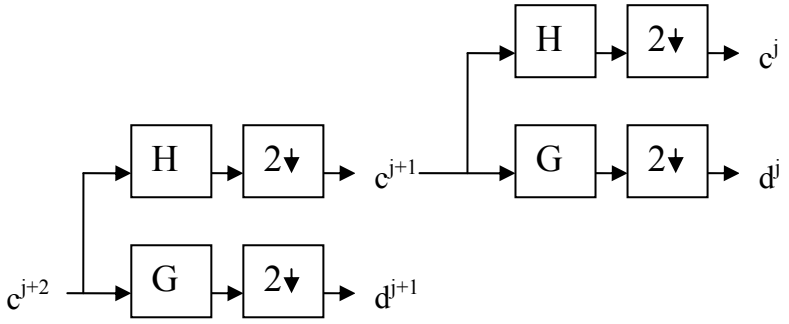
j= J-1, J-2, …, 0 için, öz yinelemeli olarak her j seviyesinde 2^j uzunluklu c^j düşük frekans ve d^j yüksek frekans (detay) katsayılarını içeren dizileri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$c^j = D_0 H c^{j+1} \quad , \quad d^j = D_0 G c^{j+1} \qquad \textbf{(3.8)}$$

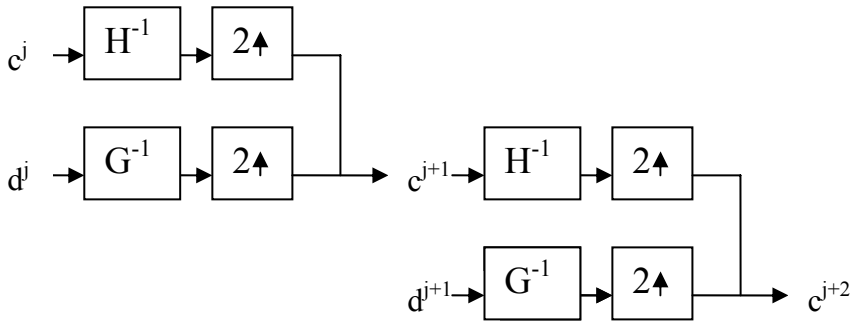
(3.8)de görüldüğü gibi her seviyedeki (j) düşük ve yüksek frekanslı katsayı dizileri bir üst seviyedeki (j+1) düşük frekanslı katsayılarında elde edilmektedir. Şekil 3.2de 8 elemanlı bir c^3 dizisinin her seviye ayrıştırmadaki detay ve ortalama katsayıları gösterilmektedir.



Şekil 3.2: 8 elemanlı bir dizi için 3 seviyede hesaplanan ortalama ve detay katsayıları



(a)



(b)

Şekil 3.3 : 2 seviyeli wavelet (a) ayrıştırması ve (b) yeniden yapılandırması

D_0H, D_0G kolayca tersleri alınarak c^j ve d^j lerden c^{j+1} dizisi elde edilebilir. Hesaplama için ayrıştırmanın en alt basamağından başlamak gerekir. c^j ve d^j dizilerinin eleman sayısı yukarı örnekleme (U_0) ile 2 katına çıkarılır. Yukarı örneklenen c^j ve d^j dizileri sırası ile alçak ve yüksek geçiren filtrelerin tersi ile filtrelenir ve toplanırlar

$$\tilde{h}_n = h_{N-n+1}, \quad \tilde{g}_n = g_{N-n+1}, \quad 0<n\leq N \tag{3.9}$$

$$c^{j+1} = H^{-1}U_0c^j + G^{-1}U_0d^j \tag{3.10}$$

ve bu şekilde bir üst basamağa geçilir. 3.10daki yeniden yapılandırma formülü öz yinelemeli şekilde kullanılarak başlangıç dizisine ulaşılır. Bu yöntemde başlangıç dizisinin eleman sayısı ile ayrıştırma sonucu ortaya çıkan dizilerin toplam eleman sayısı aynıdır, ki bu da hesaplama yükünün az olmasını sağlar.

3.3 Sürekli Wavelet Dönüşümü (CWT)

Waveletler, iki önemli özelliğe sahip olan ölçekleme fonksiyonlarından (Φ) oluşur. İlk özellik, $\Phi(t)$ ve onun tamsayı kadar kaydırılmış hali olan $\Phi(t+j)$ nin L^2 de bir ortonormal küme oluşturmasıdır.

$$\int \Phi(t)^2 dt = 1 \qquad \textbf{(3.10)}$$

$$\int \Phi(t)\Phi(t+j)dt = 0\,,\ j\neq 0 \qquad \textbf{(3.11)}$$

İkinci olarak Φ, çift ölçekte kendisinin n+½ kaydırılmış doğrusal bir kombinasyonu olarak gösterilebilir.

$$\Phi(t) = \sqrt{2}\sum_j h_j \Phi(2t-j) \qquad \textbf{(3.12)}$$

Denklem 3.4e göre $\{g_j\}$ dizisini $\{h_j\}$ dizisinin 'aynası' olarak tanımlarsak, ana wavelet $\psi(t)$ aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\Psi(t) = \sqrt{2}\sum_j g_j \Phi(2t-j) \qquad \textbf{(3.13)}$$

Ölçekleme fonksiyonunun bu iki önemli özelliği, $\{h_j\}$ dizisinin DWT'deki $\{h_n\}$ dizisinin sağladığı koşulların aynısı sağladığı gösterir.

Çeşitli fonksiyon uzaylarının bazları, $\psi(t)$ ve $\Phi(t)$ nin uygun genişletmeleri ve kaydırmalarları oluşturulabilir. Her j tamsayısı için

$$\Phi_j(t) = 2^{j/2}\Phi(2^j t) \text{ ve} \qquad \textbf{(3.14)}$$

$$\Psi_j(t) = 2^{j/2}\Psi(2^j t) \text{ dir.} \qquad \textbf{(3.15)}$$

c^J dizisi ile ilişkilendirildiğinde

$$f(t) = \sum_k c_k^J \Phi_J(t - 2^{-J}k) \text{ dir} \qquad \textbf{(3.16)}$$

R<J olmak üzere, R seviyesinde sonlandırılmış bir ayrık wavelet dönüşümü alınır. Ölçekleme fonksiyonunun özelliklerinden ve DWTnin tanımından, elde edilen katsayılar f fonksiyonu için ortonormal fonksiyonlar cinsinden bir gösterim oluşturur.

$$f(t) = \sum_k c_k^R \Phi_J(t - 2^{-R}k) + \sum_{j=R}^{J-1} d_k^j \Psi_j(t - 2^{-j}k) \quad \textbf{(3.17)}$$

Waveletlerin ortonormal olması özelliğinden dolayı

$$d_k^j = \int \Psi(t - 2^{-j}k) f(t) dt \text{ dir.} \quad \textbf{(3.18)}$$

Böylece detay katsayısı d_k^j, 2^{-j} ölçeğinde ve $t=2^{-j} \cdot k$ noktası civarında f fonksiyonu için bir bilgi taşır. Orijinal dizi c^J cinsinden bu bilgi 2^{J-j} ölçeğinde $t=2^{J-j} \cdot k$ noktası civarında bulunur. R seviyesindeki c^R katsayıları, ortogonal kaydırmalar Φ_R cinsinden yaklaşık olarak orijinal fonksiyonu gösterir

3.4 Durağan Ayrık Wavelet Dönüşümü (SWT)

DWTde yapılan ayrıştırma ve yeniden yapılandırma basamaklarında yürütülen alt ve üst örneklemeler veri kaybına sebep olmaktadır. Bunu önlemek için sadece filtre uzunluklarını değiştirerek, her seviye ayrıştırmada başlangıçla aynı eleman sayısına sahip alt diziler elde eden durağan wavelet dönüşümü kullanılır.

Z, verilen bir dizinin elemanlarını sıfırlarla değiştiren bir operatör olsun.

$$(Zx)_{2n} = x_n \text{ ve } (Zx)_{2n+1} = 0 \quad \textbf{(3.19)}$$

Bu durumda r seviyesinde ayrıştırmada kullanılan $H^{[r]}$ ve $G^{[r]}$ filtrelerinin elemanları şu şekilde düzenlenecektir (n = 1,2,…,N):

$$h_{2^r n}^{[r]} = h_n \text{ ve } h_k^{[r]} = 0 \text{ ve} \quad \textbf{(3.20)}$$

$$g_{2^r n}^{[r]} = g_n \text{ ve } g_k^{[r]} = 0 \text{ , k, } 2^r\text{'nin katı olmamak üzere} \quad \textbf{(3.21)}$$

Bu filtreler DWTde olduğu gibi ortalama ve detay dizilerini (c^r ve d^r) elde etmek kullanılırlar.

$$c^r = H^{r-1}c^{r-1} \ , \quad d^r = G^{r-1}c^{r-1} \tag{3.22}$$

Her ayrıştırma basamağında elde edilen c^r ve d^r dizileri orijinal c^{r-1} dizisi ile eşit uzunluktadır.

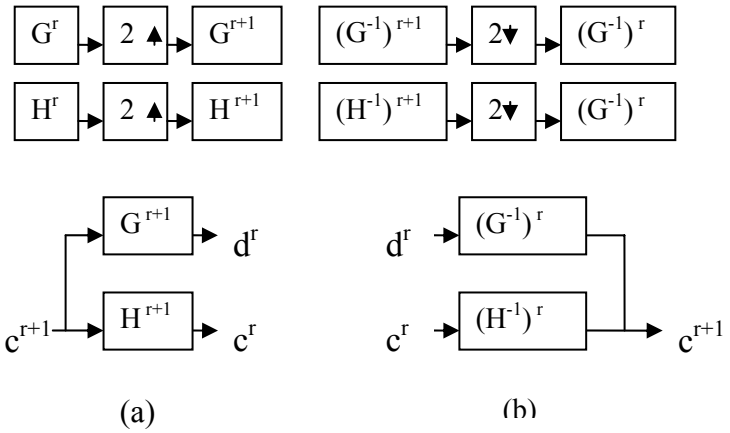
Ters SWT alınırken, denklem 3.9da gösterildiği gibi ters filtreler kullanılır ancak bu filtreler de 3.12 ve 3.13de gösterildiği gibi r seviyesine kadar Z operatöründen geçmiş olmalıdır. Bu filtrelerin tek sıra sayılı elemanlarına eklenen sıfırlar yeniden yapılandırmanın her adımında kaldırılır ve r = 0 seviyesinde da orijinal ters filtrelere ulaşılır.

$$\tilde{h}_{2n}^{[r]} = \tilde{h}_{n}^{[r-1]} \tag{3.23}$$

$$\tilde{g}_{2n}^{[r]} = \tilde{g}_{n}^{[r-1]} \tag{3.24}$$

c^r ve d^r dizileri aynı seviyedeki alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek orijinal dizi (x) elde edilir.

$$c^r = (H^{-1})^{r+1}c^{r+1} + (G^{-1})^{r+1}d^{r+1}, c^0 = x \tag{3.25}$$

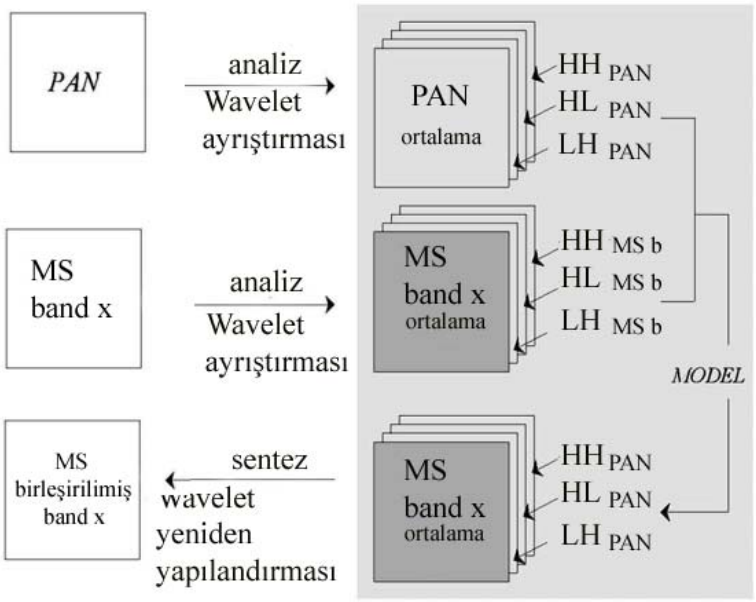


Şekil 3.4 : 1 seviyeli durağan wavelet (a) ayrıştırması (b) yeniden yapılandırması

3.5 Görüntü Birleştirme

Wavelet görüntü birleştirme yönteminde amaç PAN görüntünün detaylarını MS görüntünün her bir bandına ayrı ayrı yerleştirmektir. Bunun için PAN görüntüsü ve

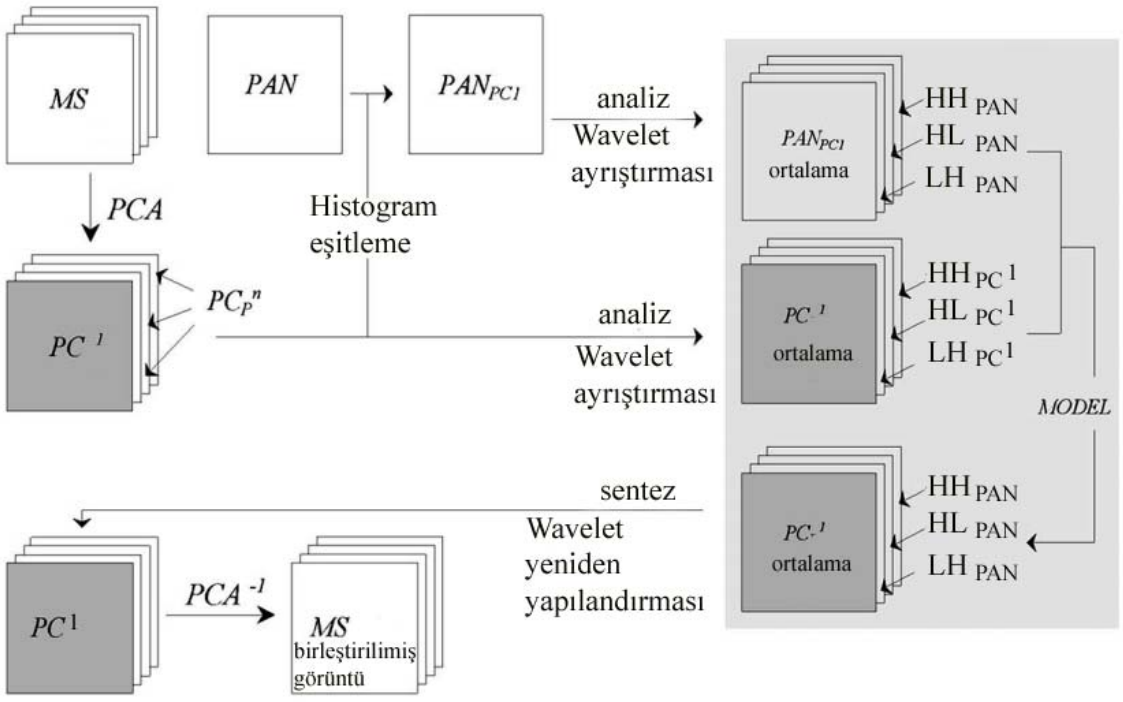
MS bandlarına ait görüntülerin wavelet dönüşümleri alınır. Bu iki boyutlu dönüşüm sonucunda her görüntüye ait ortalama resmi içeren LL, yatay detayları içeren LH, dikey detayları içeren HL ve çapraz yönde detayları içeren HH görüntüler elde edilir. Örnek bir görüntü olarak yatayda alçak geçiren, dikeyde yüksek geçiren filtreden geçirilmiş ise LH bandı elde edilir. Bu bandlar orijinal görüntüleri ile aynı piksel boyutlarına sahiptir. Birleştirme esnasında her bir MS görüntüsün LL bandları korunur, LH, HL ve HH bandları sırasıyla PAN görüntüye ait detayları içeren LH, HL ve HH bandları ile değiştirilir. Elde edilen yeni bandların ters wavelet dönüşümleri alınır ve her bir MS bandına ait birleştirilmiş görüntüler elde edilir. Bu birleştirme yöntemine ait şema Şekil 3.5te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Durağan wavelet dönüşümü ile görüntü birleştirme

4. GELİŞTİRİLMİŞ TEMEL BİLEŞEN ANALİZİ YÖNTEMİ İLE GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

Geliştirilmiş TBA, önceki iki bölümde anlatılan birleştirme yöntemlerinin sentezlenmiş halidir. Her birleştirmede olduğu gibi bu birleştirmede de öncelikle MS ve PAN görüntülerin yer kontrol noktaları çakıştırılıp, piksel boyutları eşitlenerek kusursuz biçimde üst üste oturan görüntüler elde edilir. Daha sonra Şekil 4.1de şematize edilen adımlar gerçekleştirilir.



Şekil 4.1 : Geliştirilmiş Temel Bileşen Analizi ile görüntü birleştirme

İlk adımda MS görüntünün temel bileşen analizi yapılır. PAN görüntünün histogramı, MS görüntüye ait birinci temel bileşenin (PC^1) histogramı ile eşleştirilir ve PAN_{PCI} elde edilir. Ardından PAN_{PCI} görüntü ile PC^1, Daubechies iki katsayılı waveleti ile durağan wavelet ayrıştırmasına sokulur. Birinci seviye ayrıştırma sonucunda PAN_{PCI} ve PC^1'in ayrı ayrı dört tane alt band görüntüsü, wavelet

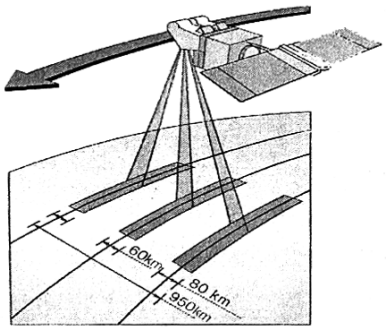
katsayıları görüntüleri, elde edilir. Bunlardan ilki ortalama görüntüler, PAN_{PCI} ve PC^1'in düşük frekanslı versiyonları (LL), ve diğer üçü de yatay(H), dikey(V) ve çapraz(D) yönde detayları içeren yüksek frekans (LH, HL, HH) görüntülerdir. Bu görüntülerin hepsi orijinal görüntülerin piksel boyutları ile aynı boyutlara sahiptir. Ayrıştırma seviyeleri arttıkça ortaya çıkan ortalama görüntüler ayrıştırılmaya devam edilir. Örnek olarak ikinci seviyeye geçildiğinde LL görüntüsü, LLL, LLH, LHL ve LHH olarak ayrıştırılır. Aynı seviyede ayrıştırılması tamamlanan PAN_{PCI} ve PC^1 görüntülerden, PC^1'nin en düşük frekanslı görüntüsü tutulur, onun dışında kalan yüksek frekanslı görüntülerin yerine, uzaysal detayları içeren PAN_{PCI}'ın yüksek frekanslı görüntüleri yerleştirilir ve birleştirme tamamlanır. Birleştirilmesi tamamlanan alt band görüntüleri ters wavelet dönüşümü ile bir araya getirilip, PAN detaylarını barındıran yeni PC^1 elde edildikten sonra ters TBA yöntemi ile orijinal MS görüntünün spektral bilgisini büyük ölçüde koruyan, yüksek uzaysal çözünürlüklü MS görüntü elde edilir ve geliştirilmiş TBA yöntemi ile birleştirme tamamlanır.

5. UYGULAMALAR

Bu bölümde, öncelikle SPOT uydusu kısaca tanıtılmış ve uygulamada kullanılan görüntülere ait bilgiler verilmiştir. Ardından Bölüm 2, 3 ve 4 te anlatılan birleştirme yöntemleri bu görüntülere uygulanmış, yöntemlerin verdiği sonuçlar çeşitli kıstaslara göre değerlendirilmiştir. Uygulamalar MATLAB programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrık durağan wavelet dönüşümünde ve ters dönüşümünde swt2 ve iswt2 fonksiyonlarından faydalanılmıştır ve filtre bankası olarak Daubechies 1 waveleti seçilmiştir.

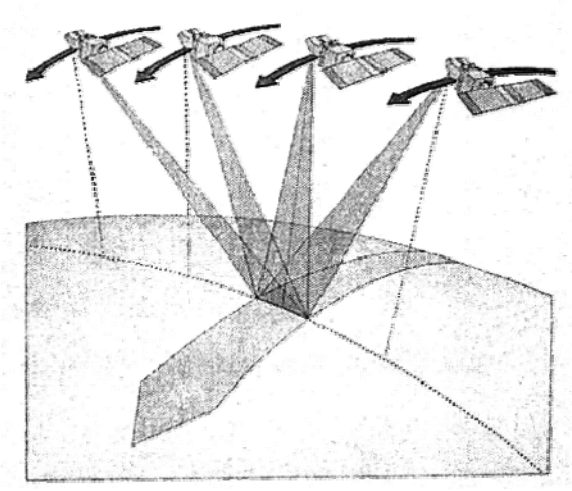
5.1 SPOT Uydu Sistemleri Ve Görüntü Özellikleri

Uygulamada kullanılan uydu görüntüleri SPOT 2 uydusundan aittir. Genel olarak SPOT uyduları yeryüzünden ortalama 830 km yükseklikte polar yörüngede hareket eden sistemlerdir. Bir SPOT uydusunun yeryüzü etrafında bir turu tamamlaması için gerekli sure yaklaşık 101 dakikadır. 24 saat içinde 14.2 tur tamamlayan bu uydu dünya çevresinde 369 dönüşü tamamlayarak 26 gün süren 1 periyotu sonunda izdüşümü aynı olan yörüngeden tekrar geçer. SPOT üzerindeki algılama sistemi yörünge üzerindeyken, bakış açısına bağlı olarak 60-80km genişliğinde bir şeridi tarayabilir ancak, genelleme 27° açı ile doğu veya batı yönlerinden birine yöneltilir. Bu şeritin seçilebileceği bölge, uydunun ayakizinin etrafındaki 950 km genişliğindeki alanıdır. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1 : Bir geçişte görünütülenen şerit genişlikleri

Bu sistemlerin üzerinde yüksek çözünürlüklü birbirine eş iki algılayıcı görünür bölgede çalışırlar. HRV-1 ve HRV-2 birbirlerinden bağımsız hareket edebilir. İki algılayıcının birlikte kullanımı halinde (ikiz kullanım) görüntü şeritlerinin yan yana gelmesiyle örtüşen ortak bölgenin genişliği 3kmdir, böylece düşeye yakın görüntüleme için 117 km lik alanda görüntü elde edilir. HRV-1 ve HRV-2, tamamen çakışacak biçimde aynı bölgeyi görüntüleyebilmektedir. Algılayıcı sistemlerin her ikisinde de biri 3000 diğeri 6000 tane 2 sıra detektör vardır, böylece her 20m ve 10m de bir yansıyan ışımayı algılar. Nominal görüntü 60x60km ve 80x60km boyutlarındadır, algılama moduna bağlı olarak çok bandlı görüntüler 20mlik 3000 satır ve piksel; pankromatik ise 10mlik 6000 satır ve pikselden oluşur. Piksel boyutları görüntüleme açısına gore 10-13.5m veya 20-27mdir, ancak yeniden örnekleme yapılarak piksel sayısı arttırılarak 10m veya 20mlik pikseller oluşturulur. Algılayıcıların herke kabiliyeti olması aynı gölgenin stereoskopik görüntülenmesinin imkanını verir (Şekil 5.2). Stereo çiftler, topoğrafik haritalamada ve sayısal arazi modelinin çıkarılmasında kullanılırlar.



Şekil 5.2 : Stereo görüntüleme

Algılayıcılar, pankromatik ve çok bandlı olarak iki farklı modda çalışabilirler. Pankromatik görüntüleme için tek bir spektral band kullanılırken (0.51-0.73µm), çok bandlı modda görüntüleme SPOT 2 için 3 bandda gerçekleştirilir. Bununla ilgili olarak detaylı bilgiler Çizelge 5.1 de görülmektedir. Görüntülerde radyometrik çözünürlük ayırt edilebilen grilik seviyesi olarak tanımlıdır ve band başına 8 bit 256 seviyedir.

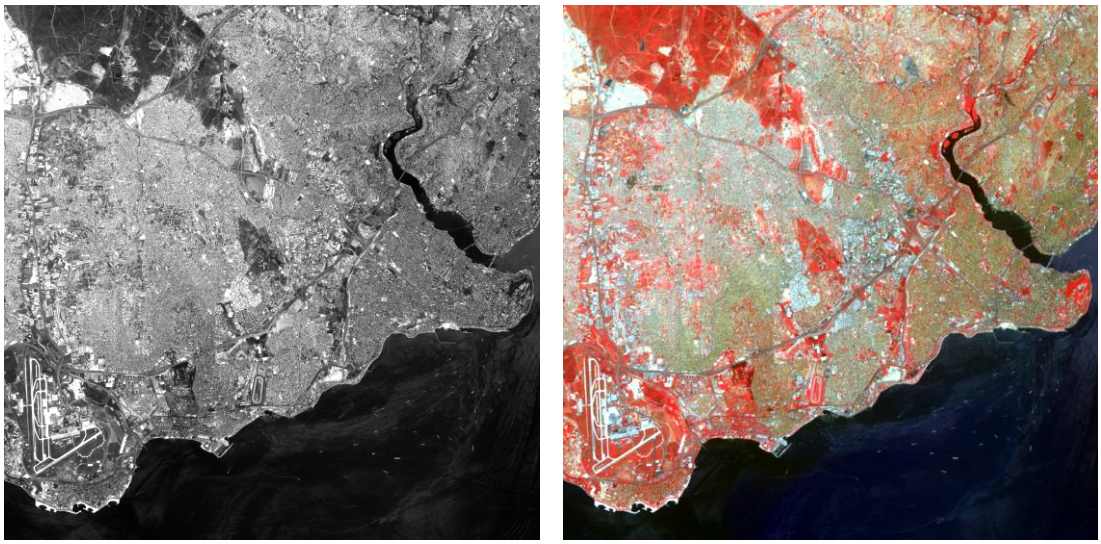
Çizelge 5.1 : SPOT 2 uydusunun bandları ve çözünürlükleri.

	Band	Spektral band	Çözünürlük
Multispektral	XS1	0,50 - 0,59 µm	20m x 20m
	XS2	0,61 - 0,68 µm	20m x 20m
	XS3	0,79 - 0,89 µm	20m x 20m
Monospektral	PAN	0,50 - 0,73 µm	10m x 10m

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 yeryüzünün yuvarlaklığı, yerkürenin hareketi, yörüngesel değişimler gibi sistemden kaynaklanan nedenlerle oluşan bozulmalar düzeltilir (radyometrik düzeltmeler) ve görüntünün örnekleme aralığı sabitlenir. Görüntüleme açısına bağlı olarak pankromatik modda 6400-8500, çok bantlı XS modda 3200-4250 arasında piksel oluşur. Level 2A'da yer kontrol noktaları kullanılmadan verilen bir projeksiyon sistemine gore doğrulama 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 Level 1B ise Level S1, Level 2 ise Level S2 adını alır.

5.2 Uygulama Görüntüleri

Uygulamalarda, İstanbul'un Avrupa yakasına ait SPOT-P (PAN) ve SPOT-XS (MS) veri çiftleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu görüntüler aynı yörüngeden aynı zamanda fakat farklı algılayıcılar (HRV-1 ve HRV-2) ile elde edilmiştir. PAN ve MS görüntülerin uzaysal çözünürlükleri sırasıyla 10 ve 20 metredir (Şekil 5.3). Birleştirme yöntemleriyle elde edilen yeni MS görüntünün uzaysal çözünürlüğü, PAN görüntünün uzaysal çözünürlüğüne yakın olacak şekilde, 10m olmalıdır.



Şekil 5.3 : (a) PAN görüntü (b) MS görüntü

Birleştirilmiş görüntüleri, kalitesini tayin etmek amacı ile, 10m çözünürlüklü MS görüntülerle karşılaştırmak gerekir; ancak aynı zamanda çekilmiş olması gereken bu görüntüler gerçekte var olmadığı için, MS ve PAN görüntülerin uzaysal çözünürlükleri sırasıyla 40m ve 20m olacak şekilde düşürülür. Bunun için bir görüntü işleme programı ile birleştirmede kullanılacak görüntülerin önce gerçek çözünürlükleri yarıya indirilir ve ardından iki katına çıkarılır. Böylece farklı birleştirme teknikleri ile elde edilen 20m uzaysal çözünürlüklü yeni MS görüntüler, orijinal MS görüntülerle ile karşılaştırılabilir.

5.3 Karşılaştırma Yöntemleri

Birleştirilmesi tamamlanan MS görüntülerinin uzaysal ve spektral karakteristikleri, görsel ve sayısal olarak karşılaştırılır. Bu bölümün alt başlıklarında sayısal karşılaştırma yöntemleri kısaca anlatılmaktadır

5.3.1 PAN görüntü ile korelasyon

Zhou tarafından tanıtılan bu karşılaştırma yönteminde öncelikle PAN ve birleştirilmiş MS görüntünün her bir bandının Laplasyen filtre ile konvolüsyonu alınır.

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

Şekil 5.4 : Laplasyen Filtre

$X_{i,j}$ ve $Y_{i,j}$ karşılaştırılan bandlara ait her bir piksel değerini, $\overline{X}$ ve $\overline{Y}$ bu bandlara ait ortalama piksel değerlerini, m ve n resimlerdeki yataya ve dikey piksel sayılarını göstermek üzere, filtrelenen görüntüler arasında korelasyon katsayısı (r) hesaplanır.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{i,j} - \overline{X})(Y_{i,j} - \overline{Y})}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{i,j} \cdot Y_{i,j})} \qquad \textbf{(5.1)}$$

Bu şekilde PAN görüntüden birleştirilmiş görüntünün her bir bandına ne kadar detay aktarıldığı anlaşılır. Sonuç 1 ise tüm detaylar aktarılmış demektir.

5.3.2 MS bandlar ile korelasyon

Orijinal MS veriye ait her bir band ile birleştirilmiş MS verisindeki bandlar arasındaki korelasyon katsayısı formül 5.1'deki gibi hesaplanır. Bu katsayının 1'e yakınsaması, orijinal bandlardaki bilginin tamamına yakının yeni bandlara geçtiğini gösterir.

5.3.3 Ortalamadan sapma

Ortalamadan sapma, orijinal görüntü ile birleştirilmiş görüntünün piksel değeri açısından ortalamaları arasındaki uzaklığın yüzde cinsinden değerini verir.

$$RM\ (\%) = 100 \cdot \frac{\overline{X}_{giriş} - \overline{Y}_{çıkış}}{\overline{X}_{giriş}} \qquad \textbf{(5.2)}$$

Birleştirilmiş görüntünün spektral kalitesi daha iyi olduğu, bu uzaklığın düşük olmasından anlaşılır.

5.3.4 Fark görüntülerinin orijinal ortalamaya göre standart sapması

Bu yöntemde, orijinal görüntü ile birleştirilmiş görüntünün farkı alınarak bir fark görüntüsü elde edilir,

$$D = X - Y \tag{5.3}$$

ve D'nin standart sapmasının, orijinal görüntünün ortalamasına olan oranı yüzde cinsinden hesaplanır.

$$SDD_{bağıl}(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(D_{i,j} - \bar{D})^2}{m \cdot n}}}{\bar{X}} \tag{5.4}$$

Birleştirilmiş görüntünün spektral kalitesinin yüksekliği, hesaplanan değerin sıfıra yakınlığı ile anlaşılır.

5.3.5 Ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE)

Görüntüleme biliminde ortalama karesel hatanın karekökü, orijinal görüntüye göre yeni bir görüntü oluşturma yönteminin ne kadar başarılı olduğunu tayin etmede kullanılan bir ölçüdür. Sıfıra yakın çıkması, yöntemin başarılı olduğunu gösterir

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{i,j} - Y_{i,j})^2}{m \cdot n}} \tag{5.5}$$

5.3.6 Bağıl ortalama spektral hata (RASE)

Bağıl ortalama spektral hata, birleştirme yönteminin spektral bandlardaki ortalama performansını tanımlamakta kullanılır.

$$RASE\ (\%) = 100 \cdot \frac{1}{M}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} RMSE^2(B_i)} \tag{5.6}$$

Burada N spektral band sayısını; M , N bandın ortalama parlaklığını (piksel değerini) ve $RMSE(B_i)$ her banda ait ortalama karesel hatanın karekökünü göstermektedir.

5.3.7 Bağıl boyutsuz evrensel birleştirme hatası (ERGAS)

Bağıl boyutsuz evrensel birleştirme hatası , yüksek uzaysal çözünürlüklü bir görüntü ile birleştirilerek çözünürlüğü yükseltilen görüntülerin kalitesinin tayin edilmesinde sık kullanılan bir parametredir.

$$ERGAS\ (\%) = 100 \cdot \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{RMSE^2(B_i)}{M_i^2}} \qquad \textbf{(5.7)}$$

Burada h ve l sırası ile yüksek uzaysal çözünürlüklü ve düşük uzaysal çözünürlüklü görüntülerin çözünürlüklerini ve M_i birleştirme işlemine giren her bir bandın ortalama parlaklığını (ortalama piksel değerini) göstermektedir. Başarılı bir birleştirmede bu değerin düşük olması beklenir.

5.4 Uygulama Sonuçları

MS ve PAN görüntüleri birleştirme yöntemleri ile elde edilen görüntülere ait sayısal sonuçlar Çizelge 5.1de gösterilmiştir. Birleştirme tekniklerinin başarımını göstermek amacıyla, ilk sütunda çözünürlüğü düşürülmüş (40x40m) MS görüntü ile çözünürlüğü düşürülmüş (20x20) PAN görüntü ve orijinal (20x20) MS görüntü karşılaştırılmıştır. Bu yüzden ilk sütun, birleştirmelerden önceki durum, son sütun ise birleştirme sonucu olması gereken ideal durum gösterilmiştir. Ayrıca çözünürlüğü düşürülmüş PAN görüntü ile karşılaştırmalara sadece çizelgenin ikinci satırında yer verilmiş olup, orijinal MS görüntü ile yapılan karşılaştırmalar ise sonraki satırlarda gösterilmiştir.

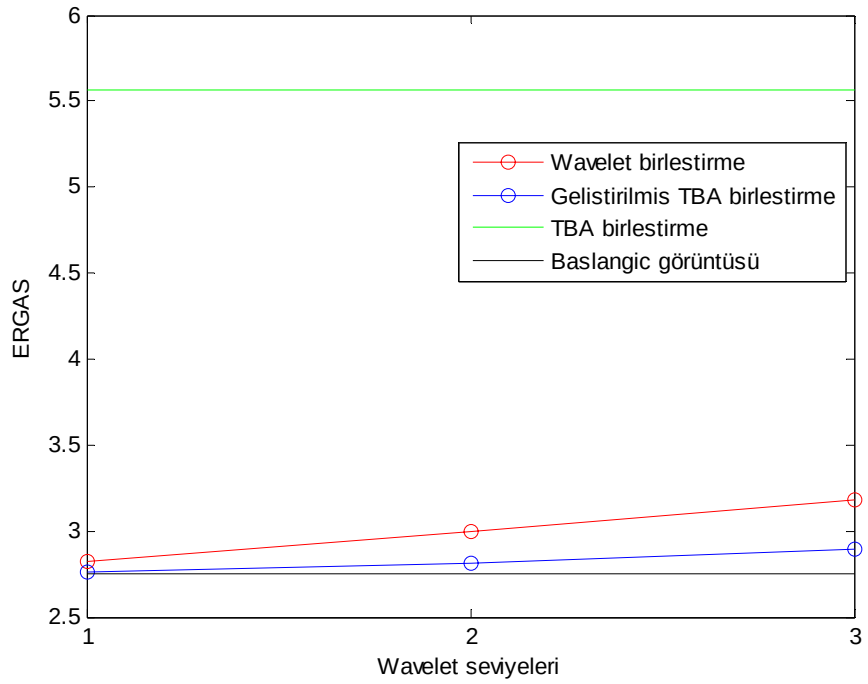
Düşük korelasyon katsayıları ve yüksek ortalamadan uzaklık, fark görüntüsünde standart sapma, RMSE, RASE ve ERGAS değerleri; birleştirme yönteminin başlangıçta kullanılan MS görüntüye ait spektral bilgiyi değiştirildiğini, Yüksek korelasyon katsayıları ve düşük ortalamadan uzaklık, fark görüntüsünde standart sapma, RMSE, RASE ve ERGAS değerleriyse uygulanan dönüşümlerin yüksek

Çizelge 5.2 : Birleştirilen görüntünün uzaysal ve spektral kalitelerinin farklı analiz parametrelerine göre aldığı değerler

Birleştirme Yöntemleri / karşılaştırmalar	Bandlar	İdeal	Çözünürlüğü düşürülmüş XS (40x40m) resim	Temel Bileşenler yöntemi	1 seviye durağan wavelet dönüşümü	2 seviye durağan wavelet dönüşümü	3 seviye durağan wavelet dönüşümü	Temel Bileşenler ve 1 seviye durağan wavelet dönüşümü	Temel Bileşenler ve 2 seviye durağan wavelet dönüşümü	Temel Bileşenler ve 3 seviye durağan wavelet dönüşümü
Pankromatik resmin detayları ile korelasyon	R bandı	1	0,37	0,74	0,72	0,82	0,87	0,58	0,63	0,66
	G bandı	1	0,60	0,90	0,92	0,96	0,98	0,85	0,87	0,88
	B bandı	1	0,58	0,91	0,93	0,96	0,98	0,87	0,89	0,90
Multispektral resim ile korelasyon	R bandı	1	1,00	0,98	1	1	1	1,00	1,00	1,00
	G bandı	1	1,00	0,98	1	1	1	1,00	1,00	1,00
	B bandı	1	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Ortalamalar arası uzaklık (Relative distance to mean)	R bandı	0	0,00	0,40	0	0	0	0,00	0,00	0,00
	G bandı	0	0,00	0,46	0	0	0	0,00	0,00	0,00
	B bandı	0	0,01	0,43	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Standart Sapma (%)	R bandı	0	2,73	10,22	3,58	4,53	5,38	3,18	3,62	3,99
	G bandı	0	5,53	11,42	5,45	5,58	5,76	5,48	5,57	5,70
	B bandı	0	7,28	11,66	7,3	7,48	7,7	7,14	7,13	7,17
Ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE)	R bandı	0	3,94	14,75	5,16	6,53	7,75	4,59	5,22	5,76
	G bandı	0	6,46	13,36	6,37	6,52	6,74	6,40	6,51	6,67
	B bandı	0	7,65	12,26	7,67	7,87	8,1	7,51	7,49	7,54
RASE	Global	0	5,09	11,06	5,31	5,74	6,19	5,15	5,30	5,48
ERGAS	Global	0	2,75	5,56	2,82	3	3,18	2,76	2,81	2,89

kaliteli olduğunu, yani, uzaysal çözünürlüğün artmasına karşın başlangıç MS görüntüsüne ait spektral bilgiyi koruduğunu göstermektedir.

Farklı metotları karşılaştırmada kolaylık amacıyla Şekil 5.5de ERGAS değerleri gösterilmiştir. Burada, geliştirilmiş TBA yönteminde alınan her seviyedeki wavelet dönüşümü , aynı seviyelerde hesaplanan standart wavelet dönüşümüne göre en düşük hata parametresini vermiştir. Genel olarak her iki yöntem de TBA birleştirmeye oranala spektral veriyi korumakta başarılı olmuştur



Şekil 5.5 : Farklı birleştirme yöntemlerine göre elde edilen ERGAS değerleri

Sonuçlara bakıldığında spektral kalitenin en az olduğu yöntemin TBA birleştirmesi olduğu gözlenmiştir. Her ne kadar PAN görüntüsünden detayları aktarmada TBA-wavelet hibrit yöntemine göre daha başarılı görünse de, diğer spektral parametrelerde ve özellikle de ERGASda diğer birleştirmelere göre idealden en uzak değerleri alarak birleştirmesini yaptığı görüntünün spektral özelliklerini kayda değer biçimde değiştirdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca TBA birleştirmesi ile elde edilen Şekil 5.6 (d) ve aynı görüntünün Atatürk Havalimanına ait bir detayını gösteren Şekil A.1 (d) ile orijinal (20x20m) MS görüntüler arasında, renkler bakımından fark vardır. Bu farklar

Şekil Şekil A.1 (d) de havaalanı terminalinin doğusu ile havaalanının güneyinden geçen yol çevresinde belirgindir.



(a)



(b)



(c)



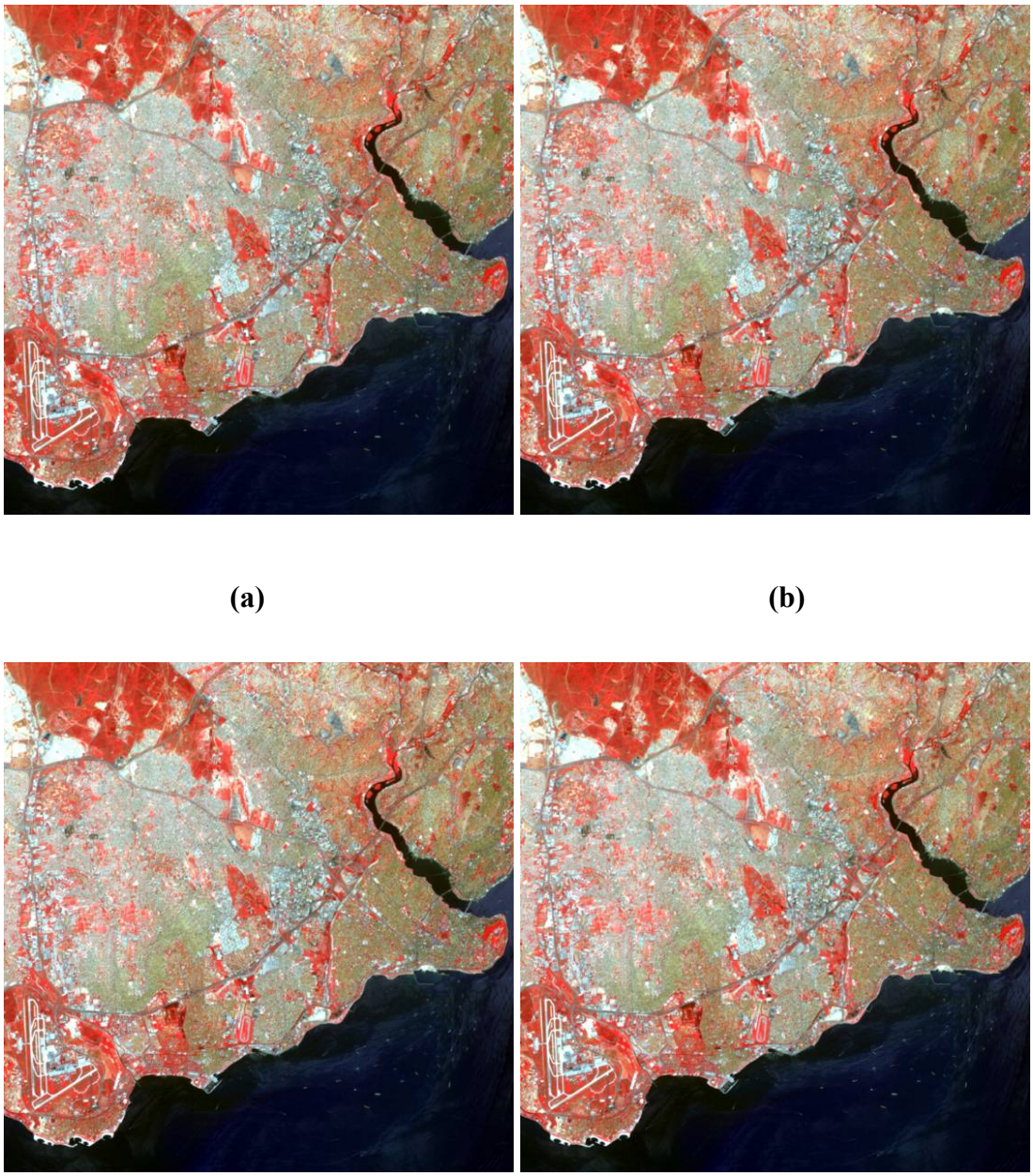
(d)

Şekil 5.6 : (a) (40x40m) MS görüntü (b) (20x20m) PAN görüntü (c) (20x20m) MS görüntü (d) TBA birleştirme sonucu

Durağan wavelet birleştirme yöntemi incelendiğinde, birinci seviye wavelet dönüşümü sonucu elde edilen XS1 bandının PAN ile korelasyonu, TBA birleştirme yönteminin gerisinde kalmakla beraber bu fark, ikinci seviye wavelet dönüşümü alındığında ortadan kalkmaktadır. Ayrıca diğer spektral değerler açısından bakıldığında her seviye dönüşümde TBA birleştirmeden daha başarılı sonuçlar vermektedir. Yine tüm seviyelerde wavelet dönüşümü birleştirmesi ile elde edilen görüntüler (Şekil 5.7 (a), (c), Şekil 5.8 (a) ve detaylar Şekil A.2 (a), (b), Şekil A.3 (a)), TBA birleştirme sonucu görüntüsü (Şekil 5.6 (d) ve detayı Şekil A.1 (d)) ile karşılaştırıldığında orijinal MS görüntüye daha yakın sonuçlar vermiştir.

Geliştirilmiş TBA yönteminin, incelenen üç yöntem içinde her bir band ve global parametreler için, orijinal görüntüdeki spektral kalitenin en iyi yansıtıldığı birleştirme olduğu görülmektedir. Özellikle geliştirilmiş TBA'da 1. seviye wavelet alınarak yapılan birleştirmede başlangıç ERGAS parametresine yakın bir sonuç elde edilmiştir. Spektral bilginin çok az değişime uğramasında geliştirilmiş TBA yönteminin başarısının, wavelet birleştirmede olduğu gibi her bir bandın detay içeren alt bandlarına birer kez PAN görüntü ekleyerek sonuç MS görüntüsüne 3 kez detay eklemek yada TBA birleştirmede olduğu gibi birinci temel bileşeni tamamen değiştirmek yerine, birinci temel bileşenlerinin sadece detay içeren alt bandlarına PAN görüntünün detaylarını koymasından kaynaklandığı yorumu yapılabilir.

Son olarak birleştirmeler, detayları aktarabilme yeteneklerine göre incelendiğinde, en iyi sonucu üçüncü seviye durağan wavelet dönüşümünün verdiği görülmektedir. Geliştirilmiş TBA bu açıdan, wavelet ve TBA birleştirmenin gerisinde kalsa da, başlangıçta çözünürlüğü düşürülmüş MS görüntünün detay korelasyonları göz önüne alındığında, PAN detaylarını aktarmada geliştirilmiş TBA yöntemini başarılı addetmek mümkündür. Ayrıca görsel olarak da, başlangıç görüntüsünün bir detayı olan Şekil A.1 (a)da havaalanına ait dikey yönde uzanan ikiz yol arasındaki ayrımın bütün birleştirme yöntemlerinde daha belirginleştiği görülmektedir.



(a) **(b)**

(c) **(d)**

Şekil 5.7 : (a) Birinci seviye wavelet birleştirme sonucu (b) birinci seviye geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu (c) ikinci seviye wavelet birleştirme sonucu (d) ikinci seviye geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu



(a) **(b)**

Şekil 5.8 : (a) Üçüncü seviye wavelet birleştirme sonucu (b) üçüncü seviye geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu

6. SONUÇ VE YORUMLAR

Bu tez çalışmasında, standart durağan wavelet ve standart TBA birleştirmesine göre yüksek spektral kaliteli birleştirilmiş görüntüleri elde etmede temellerini durağan wavelet ve TBA dönüşümünden alan alternatif bir görüntü birleştirme yöntemi incelenmiştir. Bu yüksek kalite, seçici birleştirmenin, başlangıç MS görüntüsüne PAN görüntüyü tamamen koymak yerine sadece detaylarını eklemesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, PAN görüntüden seçilerek alınan detay bilgisinin MS görüntüye sadece bir kez enjekte edilmesi, yani wavelet yönteminde olduğu gibi her bir MS bandını PAN görüntüyle birleştirmemesi, geliştirilmiş TBA yöntemini, birleştirme sonunda spektral bilginin korunumu açısından, incelenen diğer iki yönteme göre üstün kılmıştır.

Ayrıca çalışmada kullanılan yöntemin, farklı wavelet filtreleri kullanılarak ve/veya farklı uydularla farklı zamanlarda elde edilen görüntülerin (mesela bulutlu görüntülerden bulutsuz görüntü elde edilmesi) ve MRI gibi tıbbi görüntülerin birleştirilmesi gibi konularda incelenmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti S. and Garzelli A., 2002: Context-driven fusion of high spatial and spectral resolution images based on oversampled multiresolution analysis, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 40, pp. 2300–2312, Oct.

Carper, J., Lillesand, T.M. and Kiefer, **R.W.,** 1990: The use of intensity- hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 56, pp. 459–467, Apr.

Chavez, P.S., 1986 : Digital merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1 : 24.000 scale image mapping, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 52, pp. 1637–1646, Oct.

Chavez, P.S. and Bowell, J., 1988: Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in Phoenix, Arizona region, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 54, pp. 1699–1708, Dec.

Chavez, P.S., Stuart, J., Sides, C. and Anderson, J.A., 1999: Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 57, pp. 259–303, Mar.

Chibani, Y. and Houacine, A., 2002: The joint use of IHS transform and redundant wavelet decomposition for fusing multispectral and panchromatic images, *Int. J. Remote Sensing*, vol. 23, pp. 3821–3833, Sep.

Ehlers, M., 1991: Multisensor image fusion techniques in remote sensing, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 46, pp. 19–30.

Garguet-Duport, B., Girel, J., Chasseny J. M. and Pautou G., 1996: The use of multiresolution analysis and wavelet transform for merging SPOT panchromatic and multispectral image data, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 62, pp. 1057–1066, Sept.

González –Audícana M., Saleta J.L., Catalán R.G., and García 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, No. 6, pp1291-1299.

Haydn, R., Dalke, G.W., Henkel, J. and Bare, J.E., 1982: Applications of the

IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement, in *Proc. Int. Symp. Remote Sensing Arid and Semi-Arid Lands*, Cairo, Egypt, pp. 559–616.

Nason, G. P. and Silverman, B.W., 1995: The Stationary Wavelet Transform and some Statistical Applications

Nuñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Palà, V. and Arbiol, R., 1999: Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 37, pp. 1204–1211, May.

Pajares G. and de la Cruz J.M. 2004: A wavelet-based image fusion tutorial, *Pattern Recognition* 37, pp 1855-1872.

Polikar R. 1999: The Wavelet Tutorial**,** *http://users.rowan.edu/~polikar/ WAVELETS/WTpart4.html*

Ranchin T. and Wald, L., 2000: Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 66, pp. 49–61, Jan.

Schowengerdt, R.A., 1980: Reconstruction of multispatial, multispectral image using spatial frequency contents, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 46, pp. 1325–1334, Oct.

Shettigara, V.K., 1992: A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution dataset, *Photogramm. Eng. Remote Sens.* , vol. 58, pp. 561–567, May.

Thomas, C., Ranchin, T., Wald, L. and Chanussot, J., 2008: Synthesis of Multispectral Images to High Spatial Resolution: A Critical Review of Fusion Methods Based on Remote Sensing Physics, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* Vol. 46, No. 5, pp1301-1312. May.

Turk, M. and Pentland, A., 1991:Eigenfaces for Recognition, *Journal of Cognitive Neuroscience*,vol.3, no. 1, pp. 71-86.

URL <*http://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis*> alındığı tarih 15.05.2009

Welch R. and Ehlers M., 1987: Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 53, pp. 301–303, Mar.

Wilson, T.A., Rogers, S.K. and Kabrisky, M., 1997: Perceptual-based image fusion for hyperspectral data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 35, pp. 1007–1017, July.

Yocky, D. A., 1995 :Image merging and data fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform, *J. Opt. Soc. Amer. A.*, vol. 12, pp. 1834–1841, Sep.

Zhang, Y., 1999: A new merging method and its spectral and spatial effects, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 20, pp. 2003–2014, May.

Zhou, J., Civco, D.L. and Silander, J.A., 1998: A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 19, no. 4, pp. 743–757.

EKLER

EK A.1 : Atatürk Havalimanına ait görüntüler

EK A.1



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil A.1 : (a) (40x40m) MS görüntü (b) (20x20m) PAN (c) (20x20m) MS görüntü (d) TBA birleştirme



(a)



(b)

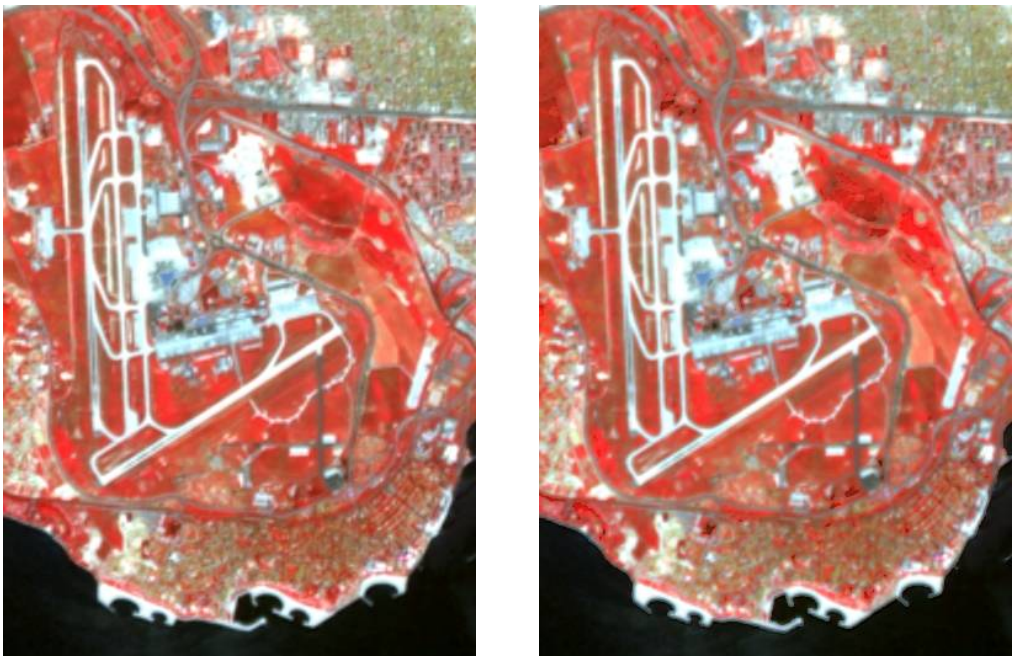


(c)



(d)

Şekil A.2 : (a) birinci seviye wavelet birleştirme sonucu (b) birinci seviye geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu (c) ikinci seviye wavelet birleştirme sonucu (d) ikinci seviye geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu



(a) **(b)**

Şekil A.3 : (a) üçüncü seviye wavelet birleştirme sonucu (a) üçüncü seviye geliştirilmiş TBA birleştirme sonucu

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Altuğ Doğanlarlıoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: 10 Ocak 1984 - İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Lise : Kadıköy Anadolu Lisesi