



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK SPEKTRALLI GÖRÜNTÜ FÜZYONU

Asan İhsan ABAS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran – 2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Asan İhsan ABAS tarafından hazırlanan "Çok Spektrallı Görüntü Füzyonu" adlı tez çalışması 01/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Yrd.Doç.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ	.....
Danışman Prof.Dr. Şirzat KAHRAMANLI	.....
Üye Yrd.Doç.Dr. Ömer Kaan BAYKAN	.....
Üye Yrd.Doç.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Asan İhsan ABAS

Tarih: 01/07/2011

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK SPEKTRALLI GÖRÜNTÜ FÜZYONU

Asan İhsan ABAS

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şirzat KAHRAMANLI

2011, 63 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Şirzat KAHRAMANLI
Yrd.Doç.Dr. Ömer Kaan BAYKAN
Yrd.Doç.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

Büyük bir hızla gelişmekte ve yeni uygulama alanları bulmakta olan uydu teknolojisi sonucunda farklı çoklu-algılayıcı sistemler ve farklı çoklu-çözünürlüğe sahip görüntü verileri kullanılmaktadır. Görüntü füzyon teknolojisi, uydu verilerinin en iyi özelliklerini (hem uzaysal, hem de spektral) içerecek şekilde tek bir görüntü verisi haline getirilmesini sağlar. Bu tez çalışmasında üzerinde yapılan iki farklı kaynak görüntüsü birleştirilmesi için çeşitli füzyon yöntemleri kullanılmıştır (Brovey dönüşümü, IHS dönüşümü, TBD dönüşümü, Dalgacık dönüşümü) ve elde edilen sonuçlar belli kriterlere göre değerlendirmesi yapılmıştır. Bu tezin diğer bir katkısı ise elde edilen görüntü sonuçlarının, maksimum uzaysal çözünürlüğüne ve iyi korunmuş kalite spektral bilgisine sahip olması için yeni bir yöntem kullanılmıştır (ridgelet dönüşümü). Aynı zamanda bu yöntemin algoritması geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dalgacık dönüşümü, Görüntü Füzyonu, IHS dönüşümü, Ridgelet dönüşümü, Uydu Görüntüsü.

ABSTRACT

MS THESIS

MULTISPECTRAL IMAGE FUSION

Asan İhsan ABAS

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Şirzat KAHRAMANLI

2011, 63 Pages

Jury
Prof. Dr. Şirzat KAHRAMANLI
Asst.Prof.Dr. Ömer Kaan BAYKAN
Asst.Prof.Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

As a result of the rapidly developing satellite technology which extends into new application areas, various multiple sensor systems and various image data with different multiple resolutions are used. Image fusion technology enables to create a single image data which comprises the best characteristics (both spatial and spectral) of the satellite data. In this thesis study, different fusion methods were used to fuse two different source images (Brovery transformation, IHS transformation, PCA transformation, Wavelet transformation) and the data obtained were evaluated according to certain criteria. Another contribution of this thesis is the usage of a new method (Ridgelet transformation) in order to enable the obtained image results to have maximum spatial resolution and well preserved spectral quality. At the same time, an algorithm was developed for this method.

Key Words: IHS Transform, Image Fusion, Image Satellite, Ridgelet Transform, Wavelet Transform.

ÖNSÖZ

Yapılan çalışmalarımda bana yol gösteren ve öncülük eden danışmanım ve değerli hocam Prof.Dr. Şirzat KAHRAMANLI ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Asan İhsan ABAS
KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. GÖRÜNTÜ FÜZYONU **4**

3.1. Görüntü Füzyonu Tanımı 4
3.2. Elektromanyetik Spektrum Enerjisi 6
3.3. Spektral Çözünürlük 7
3.3.1. Pankromatik Görüntü 8
3.3.2.Çok Spektrallı Görüntü 9

4. FÜZYON YÖNTEMLERİ **10**

4.1. Brovey Dönüşümü 10
4.2.Yansıma Şiddeti, Renk Tonu, Doygunluk (Intensity, Hue, Saturation-IHS) 10
4.3. Temel Bileşenler Dönüşümü (TBD) 14
4.4. Dalgacık Dönüşümü 16
4.4.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) 20
4.4.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü(ADD) 22
4.5. Fitlere Bankası ve çoklu çözünürlük analiz 24
4.6. Daubechies D-4 Dalgacık Dönüşümü 28
4.7. Haar Dalgacığı 29
4.8. Dalgacık Dönüşümünün Matris Biçiminde Uygulanması 31
4.9. Dalgacık Dönüşümünün Görüntülere Uygulanması 33
4.10. Dalgacık Tabanlı Füzyon Sistemi 36
4.11.Tümleşik Dalgacık -IHS Füzyon Yöntemleri 36

5. RİDGELET DÖNÜŞÜMÜ **39**

5.1. Ridgelet Dönüşümü İle Görüntü Füzyonun Amacı 39
5.2.Ridgelet Dönüşümünün Algoritması 39
5.3 Sonlu Ridgelet Dönüşümü 41
5.3.1. Radon Dönüşümü 43
5.3.2. Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) 44
5.4. Ridgelet Dönüşümün Geliştirilmesi 46
5.4.1.Ayrık Kosinüs Dönüşümü(AKD) 46
5.5. Ridgelet Ve Geliştirilen Ridgelet Dönüşümün Füzyon Yönteminin Akış Şeması 48

6.GÖRÜNTÜ DEĞERLENDİRİLMESİ VE FÜZYON UYGULAMA YAZILIMI 50

6.1.Görüntülerin Değerlendirilmesi(Kalite Analizi) 50
6.2.Görüntü Sonuçları 54
6.3.Füzyon Uygulama Yazılımı 55

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 57

KAYNAKLAR 59

ÖZGEÇMİŞ 63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AGF : Alçak Geçiren Filtre

ADD : Ayrık Dalgacık Dönüşümü

AFD : Ayrık Fourier Dönüşümü

AKD : Ayrık Kosinüs Dönüşümü

FD : Fourier Dönüşümü

HFD : Hızlı Fourier Dönüşümü

IHS : Intensity, Hue, Saturation (Yansıma Şiddeti, Renk Tonu, Doygunluk)

KZFD : Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

MS : Multispectral (Çok Spektrallı)

PAN : Pankromatik görüntü

RGB : Kırmızı, Yeşil ve Mavi renkler

SDD : Sürekli Dalgacık Dönüşümü

TAFD : Ters Ayrık Fourier Dönüşümü

TADD : Ters Ayrık Dalgacık Dönüşümü

TBA : Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis)

YGF : Yüksek Geçiren Filtre

HH : Yatay Ve Düşey Yönde Yüksek Geçirgen

HL : Yatay Yönde Yüksek Geçirgen, Düşey Yönde Alçak Geçirgen

LL : Yatay Ve Düşey Yönde Alçak Geçirgen

LH : Yatay Yönde Alçak Geçirgen, Düşey Yönde Yüksek Geçirgen

Simgeler

$c(k)$: Ayrık dalgacık dönüşümü yaklaşım katsayıları

$d(k)$: Ayrık dalgacık dönüşümü ayrıntı katsayıları

$g0(n)$: Ayrık dalgacık dönüşümü alçak-geçiren sentez filtresi

$g1(n)$: Ayrık dalgacık dönüşümü yüksek-geçiren sentez filtresi

$h(n)$: Ayrık dalgacık dönüşümü alçak-geçiren analiz filtresi

$g(n)$: Ayrık dalgacık dönüşümü yüksek-geçiren analiz

$\psi(t)$: Ana dalgacık fonksiyonu

$\varphi(t)$: Ölçek fonksiyonu

1.GİRİŞ

Günümüzde dünya etrafında dönmekte olan uydulardan yeryüzü hakkında pek çok bilgi elde edilmektedir. Uydulardan elde edilen veriler; uyduların geniş görüş açıları, uydu algılayıcılarının hareket hızı ve kullanılan spektral bant sayısı nedeniyle çok fazla miktardadır (Kitapçıoğlu, 2005).

Uzaktan algılama uydu kavramı 1950'li yılların başlarında gündeme gelmiştir. Özellikle 1970'li yıllardan itibaren de bu alanda çok önemli mesafeler alınmıştır. Kullanılan alet araç ve teknolojilerde ciddi gelişmeler gösterilmiştir. Bu gelişmelere bağlı olarak uzaktan algılama uygulamaları da çok geniş bir kulanım yelpazesi içinde uygulama bulmuştur (Turoğlu, 2000).

Uzaktan algılama uydu verileri önceleri daha çok askeri amaçlarla kullanılmıştır. Uydulardan elde edilen değişik ayrım gücündeki sayısal veriler ve bunlardan bilgisayar yazılımı ile yeryüzünün detaylı bir şekilde modellenmesi, düşmanın yerinin tespiti, askeri birliklerin en uygun şekilde konumlandırılması ve komuta edilmesi, askeri uygulamaların başında yer almaktadır. Elde edilen hassas sayısal görüntüler sayesinde elektromanyetik bandın geniş bir aralığına bakılabilmekte ve doğal yapıya zıt düşen nesneler derhal tespit edilebilmektedir. Daha sonraları yer gözlem uydularındaki gelişmeye paralel olarak sivil yaşamda da uzaktan algılama uydu verilerinin uygulama alanları katlanarak artmıştır (Uğurlu, 2006). Uzaktan algılama yoluyla elde edilmiş görüntüler yeryüzüne ait birçok bilgiyi içinde barındırır Bu bilgiler yeryüzünden yansıyan elektromanyetik enerjinin uyduların alıcıları tarafından algılanarak çeşitli bantlara kaydedilmesi yoluyla toplanır. Her bir bantta o bandın hassasiyet gösterdiği özelliklere ait yansıma değerleri bulunur. Birden fazla bant bir araya gelerek bir görüntü oluşturabildiği gibi, tek bir banttan oluşan görüntüler de mevcuttur (Çelik ve ark, 2004).

Görüntü füzyonunun en önemli uygulama alanlarından biri uzaktan algılamadır. Uzaktan Algılama için tasarlanan cihazlar, ya renk bilgisi olan düşük çözünürlükte Çok Spektrallı (MS-multispectral), ya da renk bilgisi olmayan, yüksek uzaysal çözünürlükte pankromatik (PAN-panchromatic) görüntüler elde ederler. Görüntü füzyonu, tam bu noktada devreye girerek, hem çözünürlüğü yükseltir, hem renk bilgisi içeren yeni bir görüntünün elde edilmesini sağlar. Dolayısıyla, görüntü füzyonu, giriş görüntülerinin en iyi özelliklerini seçme işlemi olarak da adlandırılabilir (Kaplan, 2008).

Bu çalışmada düşük çözünürlüklü (30 metre) Landsat Çok spektrallı görüntü ve yüksek çözünürlüklü (5 metre) Spot pankromatik görüntünün birleştirilmesi için farklı

füzyon yöntemleri kullanılmıştır ve elde edilen sonuçlar görsel ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde ise, kaynak araştırması hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümünde, genel olarak uzaktan algılama, görüntü füzyon tanımı, uygulama alanları, pankromatik görüntüsü ve çok spektrallı görüntü anlatılmıştır. Dördüncü bölümünde, kullanılan farklı füzyon yöntemleri ve algoritmaları (brovey dönüşümü, IHS dönüşümü, TBD dönüşümü , dalgacık dönüşümü ve ayrık dalgacık dönüşümün iki ailesi haar ile daubachies incelenmiştir. Beşinci bölümünde, kullanılan yeni füzyon yöntemi (Ridgelet dönüşümü) ve algoritmasının geliştirilmesi yapılmıştır. Altıncı bölümde ise uygulanan tüm füzyon yöntemlerinin ve elde edilen sonuçları Kalite Ölçütleriyle, İstatistik yöntemlerden olan korelasyon kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaplan'ın (2008) yüksek lisans tez çalışmasında, çoklu çözünürlük yöntemleri arasında, yaygın olarak kullanılan Dalgacık Dönüşümü tabanlı füzyon ile yakın zamanda önerilmiş olan DFT(Discrete Fourier Transform)/RDFT(Rreal Discrete Fourier Transform) tabanlı füzyon incelenmiştir. Çoklu çözünürlük yöntemlerine ilave olarak, renk dönüşümü tabanlı bir algoritmaya sahip olan IHS dönüşümü ile füzyon ve IHS ile Dalgacık yöntemlerinin bir arada kullanıldığı tümleşik yöntemler ele alınmıştır.

Bektaş Balçık'ın ve Göksel'in (2009) makalesinde SPOT 5 MS ve SPOT 5 PAN görüntülerinin birleştirilmesi için IHS, Brovey, Multiplicative, HPF(High Pass Filters) ve PCA(Principal Component Analysis) görüntü birleştirme yöntemleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar görsel ve istatistik açıdan karşılaştırılmıştır.

Göçeri'nin (2006) yüksek lisans tez çalışmasında kenar belirleme ve görüntüdeki gürültü ve olumsuz etkileri azaltmak için sayısal filtreleme gibi önemli görüntü işleme tekniklerini sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir.

Fidan'ın (2006) yapılan yüksek lisans tez çalışmasında yeni geliştirilmekte olan sinyal işleme yöntemlerinden "Dalgacık Dönüşümü" incelenmiştir. Dalgacık dönüşümü elektromanyetik alanlara uygulanmış ve ayrıca Zaman Alanlı Sonlu Farklar yöntemiyle modelleme ve diğer sinyal işleme yöntemleri; Fourier dönüşümü, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ile diğer yöntemlerle bağlantısı incelenmiştir.

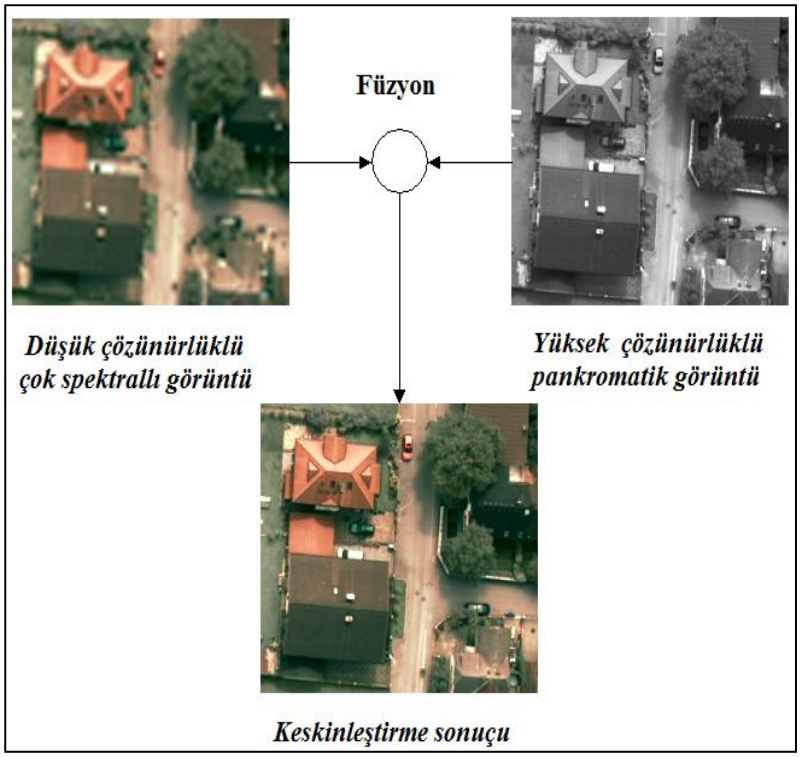
Uğurlu'nun (2006) yüksek lisans tez çalışmasında, farklı yöntemleri kullanarak çeşitli uzaysal ve tayfsal çözünürlükteki farklı sayısal görüntülerden Çanakkale Bölgesi'nin arazi örtüsünün farklı özelliklerini vurgulamak için yeni görüntüler oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Bunun için bazı iyi bilinen görüntü birleştirme yaklaşımları Çanakkale'deki aynı bölgeye ait uydu görüntüsü ve hava fotoğrafına uygulanmıştır. Birleştirilen görüntüler değerlendirilip görsel ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Çelik'in (2006) yüksek Lisans çalışmasında değişik yıllara ait değişik çözünürlükteki uydu görüntüleri üzerinde sayısal görüntü işleme teknikleri adım adım uygulanarak Sarıyer kent dokusunun incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada İ.T.Ü'nden sağlanan 1 İKONOS, 1 IRS, 2 LANDSAT raster uydu görüntüsü; Sarıyer ilçesine ait mahalleler, parseller ve araziler vektörel bilgileri ile "ERDAS IMAGINE 8.6" yazılımı kullanılmıştır.

3. GÖRÜNTÜ FÜZYONU

3.1. Görüntü Füzyonu Tanımı

Görüntü füzyonu, yüksek uzaysal çözünürlüklü pankromatik görüntünün detay bilgisini ve düşük uzaysal çözünürlüklü çok spektrallı görüntünün renk bilgisini bir araya getirip yüksek uzaysal çözümlemeli renkli görüntü oluşturan bir tekniktir.



Şekil 3.1. İki görüntüye füzyon uygulaması

Goshtasby (2005)'a göre görüntü füzyonu, bir ortamı görünümünü zenginleştirmek ve anlaşılabilirliğini arttırmak için ortama ait iki veya daha fazla görüntüdeki bilgileri bir araya getirme işlemidir. Aynı zamanda görüntü keskinleştirme olarak adlandırılır.

Uzaktan algılama literatüründe füzyon işlemi "pansharpening" olarak adlandırılır; çünkü birleştirme işleminde, PAN görüntünün uzaysal detayları Çok spektrallı görüntüyü keskinleştirmek için kullanılmaktadır. Bu işlemler dâhilinde Çok spektrallı görüntünün uzaysal çözünürlüğü arttırılırken, spektral bilgisi korunmaya çalışılır (Pradhan, 2005).

Görüntü füzyonun temeli görüntünün içerdiği bilgileri kalitesini artırmasıdır. Kapsayan bir çalışmada var olan görüntü füzyon teknikleri ve uygulamalarının amacı yeni bir görüntü üretilmesi ve yüksek kalitede görüntü sağlayabilmesidir.

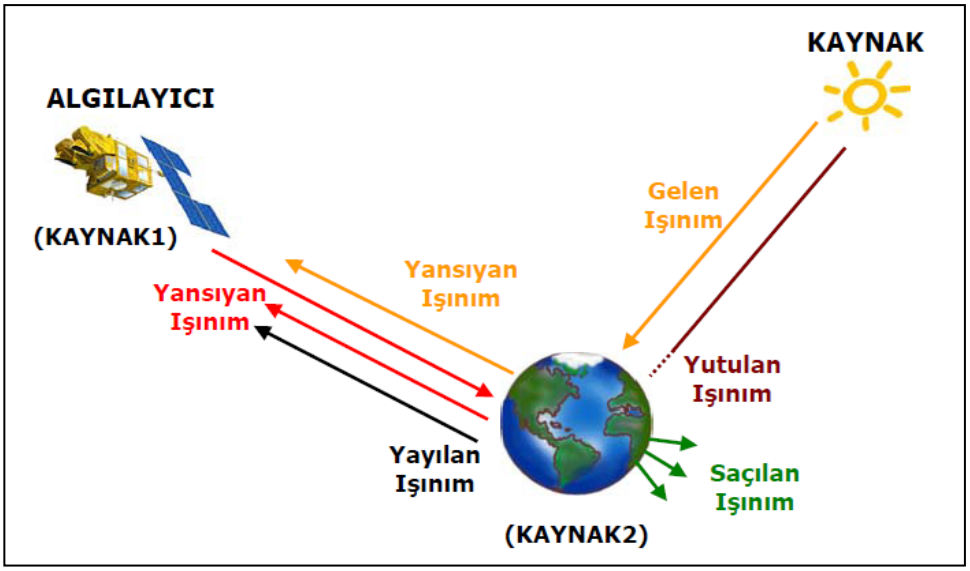
Şu ana kadar hem amaç hem de kullanılan metot açısından birçok görüntü füzyon tekniği geliştirilmiştir. Söz konusu tekniklerin uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Bulatov, 2006):

- Akıllı sistemler ve robotlar
  - Görüntü ve diğer sensörleri kullanarak gerçekleştirilen geri beslemeli
  - robot hareket kontrolü.
  - Stereo kameraların kontrolü.
  - Akıllı izleme sistemleri.
  - Otomatik hedef belirleme ve yol takip etme sistemleri.
- Tıbbi uygulamalar
  - X-ışınlarla elde edilmiş tomografi ile manyetik rezonans görüntülerin füzyonu.
  - Bilgisayar destekli cerrahlık.
  - 3 boyutlu yüzey örnekleme.
- İmalat sistemleri:
  - Elektrik devre eleman tespiti.
  - Ürün yüzeyini ölçme ve inceleme.
  - Tehlikeli olmayan (nondestructive) maddelerin incelenmesi.
  - İmalat süreç denetimi.
  - Karmaşık makine/cihaz inceleme.
  - Üretim hatlardaki zeki robotlar.
- Askeri ve güvenlik uygulamaları:
  - Tanıma, iz sürme, yer (su, hava) hedefleri belirleme.
  - Saklı silah tespiti.
  - Savaş alan denetimi.
  - Gece yol kılavuzu.
- Uzaktan algılama sistemleri
  - Elektro manyetik ışınlarının değişik frekanslarını kullanma.

- Algılayıcılar: siyah beyaz havai fotoğraf makinelerinden çok spektrumlu aktif mikrodalga görüntüleme radarlarına kadar çeşitli ölçü sistemleri.

3.2. Elektromanyetik Spektrum Enerjisi

Elektromanyetik spektrumun değişik bölümlerinde Güneşten gelen, yeryüzünden yansıyan ve yayılan enerji uydular aracılığı ile algılanıp sayısal forma dönüştürülmektedir. Sayısal uydu verileri daha sonra yer istasyonlarına ulaştırılıp bazı ön değerlendirmelerden geçirildikten sonra araştırmacı ve uygulayıcılar tarafından kullanılmaktadır.

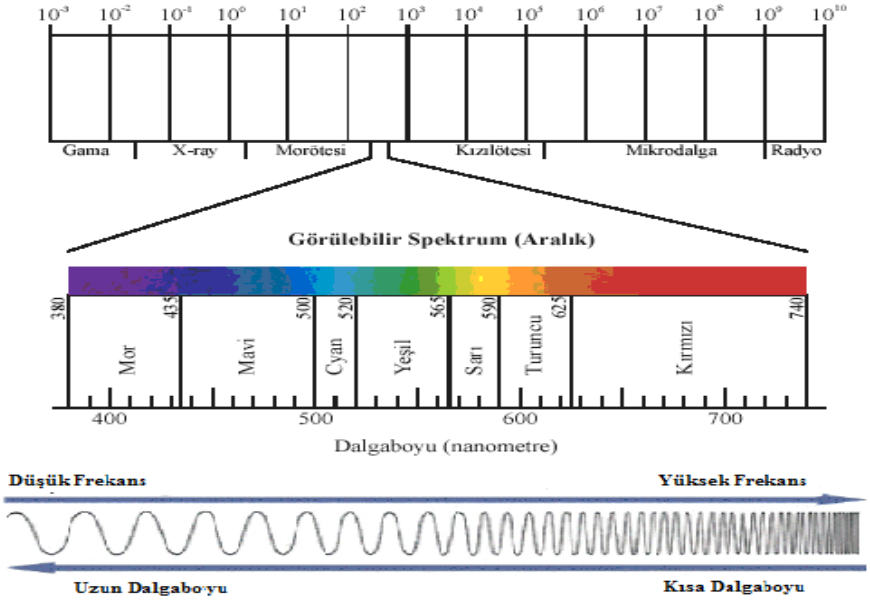


Şekil 3.2. Elektromanyetik enerji, spektral etkileşim ve uzaktan algılama sistemi

Elektromanyetik spektrumun dalga boyu 400 ile 700 nanometre arasında kalan bölümü insan gözü tarafından algılanabilmektedir.

Elektromanyetik spektrumun mor ötesi ışınlarla mikrodalga ışınları arasındaki bölümleri aracılığı ile havadan ve uzaydan cisimlerin özelliklerini kaydetme ve inceleme tekniği olarakta tanımlanabilir (Anonim, 2001).

Gama, X ve Ultraviyole ışınları tipindeki enerji atmosfer tarafından emildiği için uzaktan algılamada kullanılamazlar. 0.4-0.7 μm dalga uzunluğundaki elektromanyetik spektrumun gözle görünür kısımları hem fotoğraf makinelerinde hem de algılayıcılarda kullanılır (Sezgin, 2006).



Şekil 3.3. Elektromanyetik spektrum ve bant aralıkları

Algılayıcılar da nesnelerin elektromanyetik spektrumda verdikleri farklı tepkileri dikkate alınarak tasarlanır. Algılayıcının her bir bandı, elektromanyetik spektrumun bir bölümüne duyarlıdır ve her bir bant farklı spektral aralıklarda elektromanyetik enerji kaydeder. Bu bölüm, başlangıç ve bitiş dalga boyları veya merkez frekansı ve bant genişliği olarak ifade edilir. Elektromanyetik spektrum ne kadar fazla ve küçük parçaya ayrılırsa, yeryüzündeki farklı nesneleri de bu ayrımlara göre birbirinden ayırt etmek daha kolay olur (İnce,1986).

Algılayıcılar elektromanyetik spektrumun bir veya birkaç aralığında algılama yapabiliyorsa, bu tür algılayıcılar çok spektrallı (*Mutispectral-MS*) algılayıcılar; çok fazla sayıda aralıkta algılama yapabiliyorsa hyperspectral algılayıcılar olarak isimlendirilirler (Uğurlu, 2006).

3.3. Spektral Çözünürlük

Spektral çözünürlük, bir algılayıcının elektromanyetik spektrumdaki belli bazı dalga boyu aralıklarını kaydedebilmesidir. Elektromanyetik spektrumdaki geniş dalga boyu aralıkları düşük (kaba) spektral çözünürlük, dar dalga boyu aralıkları yüksek (ince) spektral çözünürlük olarak tanımlanır (Çelik, 2006).

Bir uzaktan algılama sisteminde spektral çözünürlük, ölçülen dalga boyu dizisinin farklı bölümlerini ayırt etme kabiliyeti olarakta tanımlanabilir. Bir algılayıcı

sistemi tarafından üretilen bir görüntü; çok geniş dalga boyuna sahip tek bir banttan (Pankromatik), Birkaç geniş banttan (Multispectral) oluşabilir (Uysal, 2004).

Spektral çözünürlüğün de sayısal verilerin büyüklüğü çok spektrallı veri için büyük gelebilir çünkü birçok farklı dalga boyunda algılama yapılması gerekebilir. Pankromatik veri tek bir banda sahiptir. Bu yüzden çok spektrallı sensörden daha yüksek uzaysal çözünürlüğe sahiptir (Çelik, 2006).

3.3.1. Pankromatik Görüntü

Bu görüntüler, elektromanyetik spektrumun geniş bir bölümüne ait yansıyan enerjinin algılanması ile elde edilmektedir. Pankromatik algılayıcılarının bant aralığı görünür bölüm ile yakın kızılötesini kapsamaktadır ve bu veriler siyah-beyaz olarak sunulmaktadır (Uysal, 2004).

Pankromatik görüntüler sadece bir katmana sahiptirler ve elektromanyetik spektrumun bir kısmını algılarlar. Piksel gri değerleri 255 değerine yakın olan nesneler beyaz, 0 değerine yakın olan nesneler ise siyah görünür. Aradaki değerler grinin tonlarını gösterir yani 256 adet farklı parlaklık değerine karşılık gelir (örneğin siyah-beyaz fotoğraflar). Nesnelerin gri tonlar ile belirlenmesine yardımcı olurlar (Atak, 2007).



Şekil 3.4. Pankromatik görüntü

3.3.2. Çok Spektrallı Görüntü

Elektromanyetik spektrumun birden çok bantlarında toplanan yansıma değerlerinden oluşan görüntülerdir. İki ayrı algılayıcı, aynı dalga boyunun değişik parçalarına ait enerjiyi ölçebilmektedir. Bu şekilde toplanan birden fazla yansıma değeri renkli görüntü elde etmek için birleştirilmektedir (Atak, 2007). Elektromanyetik spektrumdaki bantların iki veya daha fazlası algılandığında ise çok spektrallı görüntüler söz konusu olur. Bu görüntüler kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) renk bantlarını içerirler. Bu görüntülerde her bir katman bir renge tahsis edilmiştir (Atak, 2007).



Şekil 3.5. Çok spektrallı görüntü

4. FÜZYON YÖNTEMLERİ

4.1. Brovey Dönüşümü

Brovey Dönüşümü Bob Brovey (1987) tarafından sunulmuştur ve renk düzeltmesi olarakta tanımlanmıştır (Ghassemian, 2000).

Bu yöntemde görüntüye ait en düşük ve en yüksek kenardaki değerleri arasında farklılığı görsel olarak arttırmak için kullanılan bir birleştirme yöntemidir. Bu sebepten dolayı, bu yöntem daha çok farklılıkların göz ile algılanmasının önem kazandığı çalışmalarda kullanılmaktadır. Brovey dönüşümü, temel olarak çok spektrallı görüntünün her bir bandının parlaklık değerini ayrı ayrı pankromatik görüntünün parlaklık değerleri ile çarpılması ve elde edilen değerin diğer tüm bantların piksel değerleri toplamına bölünmesi ile gerçekleştirilir (Bektaş Balçık ve Göksel, 2009) . Bu işlem görüntünün tümünde uygulanır. Brovey dönüşümü olarak bilinen bu eşitlik;

$$R_{yeni} = \frac{R}{R+G+B/3} * PAN$$
$$G_{yeni} = \frac{G}{R+G+B/3} * PAN \qquad (4.1)$$
$$B_{yeni} = \frac{B}{R+G+B/3} * PAN$$

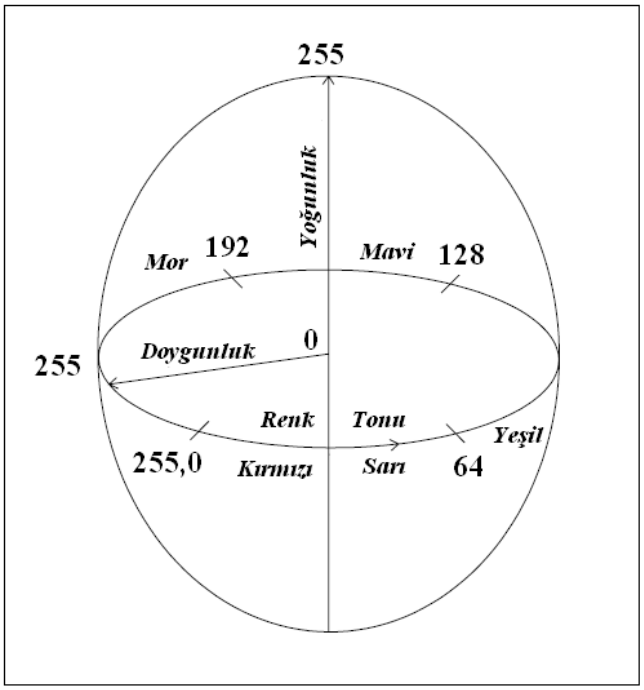
R: Kırmızı, G: Yeşil, B: Mavi, PAN: Pankromatik olarak tanımlanır.

Spektral özelliklerin önemli olduğu çalışmalarda bu yöntem güvenilir sonuçlar vermeyecektir, çünkü işlemler sırasında piksel değerleri değişmektedir.

4.2. Yansıma Şiddeti, Renk Tonu, Doygunluk (Intensity, Hue, Saturation-IHS)

Sayısal görüntüler kırmızı, yeşil ve mavi (*RGB*) olmak üzere üç temel renk ile temsil edilir. Yansıma şiddeti (*intensity-I*) görüntünün toplam parlaklığının ölçüsüdür. Renk Tonu (*Hue-H*) görüntüyü oluşturan ışığın dalga boyunu ifade eder. Doygunluk (*Saturation-S*) bileşeni ise rengin saflık derecesi belirtir. IHS sistemi, insan algılamasına çok yakın bir şekilde renkleri sunar. IHS sistemi, Şekil 4,1'de gösterilen renk küresine

dayanmaktadır. Düşey eksen şiddeti, yarıçap doygunluğu ve ekvator kuşağında renk tonunu göstermektedir. Yansıma şiddet ekseni 0'dan 255'e kadar olan parlaklık değişimlerini göstermektedir. Renkle hiçbir bağlantısı yoktur. Renk tonu değerleri kırmızı tonun ortasında 0'dır ve saatin ters yönünde artar. Renk küresinin merkezinde 0 ve ekvator kuşağında 255 değerini alır. Bantlar arasındaki yüksek korelasyon nedeniyle RGB sisteminde uydu verilerinin renk görüntüleri düşük doygunluktadır (Şen, 2006).



Şekil 4.1. Yoğunluk, renk tonu, doygunluk (IHS) renk koordinat sistemi

RGB'den IHS ortamına dönüştürülen sayısal görüntü daha sonra yine renk ortamına dönüştürülebilir. IHS dönüşümünde genellikle silindirik veya küresel koordinatlar ile belirlenen IHS değerleri, lineer bir dönüşüm kullanılarak v1 ve v2 değerleri aracılığı ile Kartezyen koordinatlara eşleştirilir. Dairesel model için dönüşüm eşitlikleri (Kaplan, 2008);

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{6} & -2/\sqrt{6} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

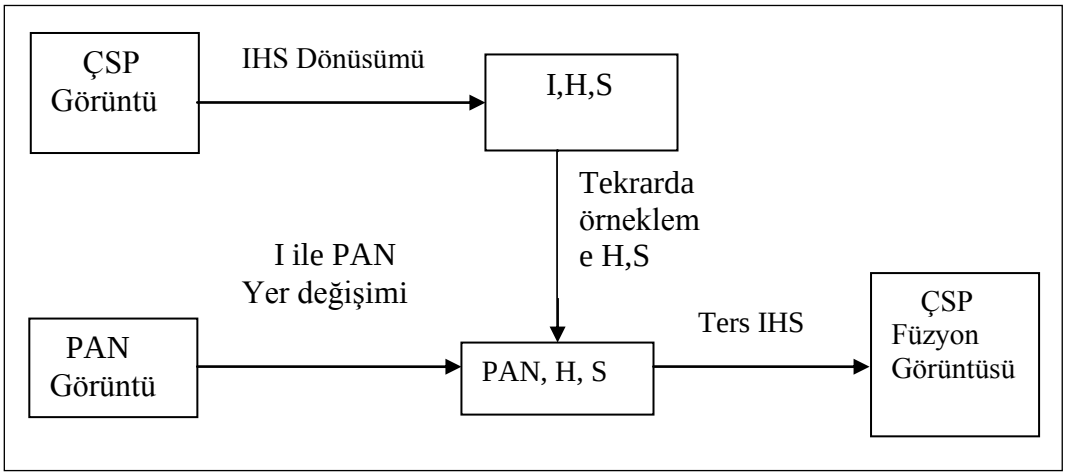
Ters dönüşüm ise;

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & -2/\sqrt{6} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P* \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Şeklinde elde edilmektedir.

Burada RGB: (Kırmızı, Yeşil, Mavi), P: Pankromatik değeri, I: Yansıtma Şidet değeri.

Bu dönüşüm uzaysal bilginin bir tek yansıma şiddeti spektrumuna (I) ayrılmasına izin verir ve yüksek uzaysal çözünürlüklü tek spektral (Pankromatik PAN) ile değiştiriyor. Diğer spektrallar uzaysal bilgi yerine renk ile ilgili bilgiler içerirler. Şekil 4.2'de IHS akış seması verilmektedir.



Şekil 4.2. IHS dönüşümü tabanlı füzyonun akış şeması

Bu dönüşümünün değişik modellerde de bulunmaktadır. Modeller yansıma şiddeti I'nin değerlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerde farklılık gösterir. Smith (1978)'in heksagonal (altıgensel) ve üçgensel modelleri yaygın olarak kullanılan modellerdir (Vijayaraj, 2004). Bu modeller yardımıyla hesaplanan yansıma değerleri sırasıyla şöyledir:

Altıgensel: I = *max(R,G,B)*

Üçgensel: $$I = \frac{R + G + B}{3} \tag{4.4}$$

Renk tonu ve doygunluk değerleri ise yansıma şiddeti değerlerinden hesaplanılarak elde edilir. Heksagonal model yansıma şiddetinin değerini hesaplarken iki renk değerini göz ardı eder. Bu yüzden yansıma şiddeti değerini doğru bir şekilde yansıtmayabilir. Örneğin, kırmızı (255,0,0) ve beyaz (255,255,255) için hesaplanacak olan yansıma değerlerinin her ikisi için de 255 sonucu elde edilecektir. Bu durum veri birleştirilme işleminde arzu edilmeyen bir durumdur. Çünkü bu yaklaşımla spektral özellikler iyi bir şekilde korunamaz. Üçgensel modelde ise yansıma şiddeti değeri her üç rengin genel bir ortalaması olacağından sayısal görüntünün karılmasında altıgensel modele oranla daha anlamlıdır (Uğurlu, 2006).

Yansıma şiddeti değerini hesaplamada kullanılan bir başka yaklaşım ise üç rengin en parlağını ve en sönüğünü kullanarak oluşturulan modeldir.

$$I = \frac{\max(R,G,B) + \min(R,G,B)}{2} \tag{4.5}$$

Bu hesaplama, üç bileşenden birini göz ardı eder. Elde edilen değer, ters dönüşüm gerçekleştirildiğinde tüm renk bileşenlerine eşit bir şekilde dağıtılmayacaktır. Bu yüzden bu model, görüntü füzyonunda fazla tercih edilmez. Her üç model, renk tonu ve doygunluk değerlerinin hesaplanmasında farklı eşitlilikleri kullanır. Üçgensel modelde renk tonu ve doygunluk değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitliklerden faydalanılır (Uğurlu, 2006). Buna göre renk tonu(H) ve doygunluk (S) değerleri:

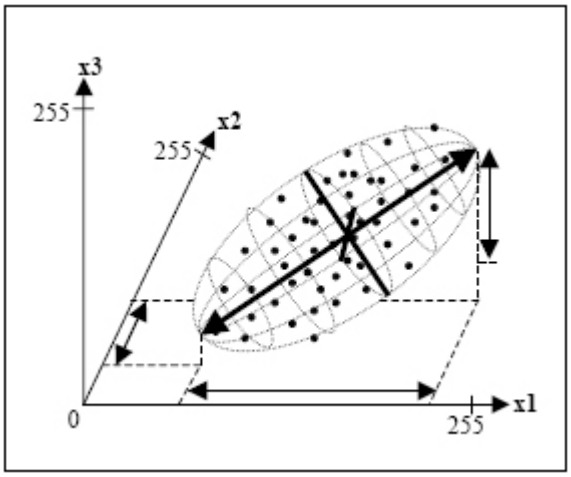
$$S = \frac{2}{\sqrt{6}} \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - GB - BR} \tag{4.6}$$

$$H = \begin{cases} H = 0; & S = 0 \\ H = \tan^{-1}(\sqrt{3}(G - B), (2R - G - B); & S \neq 0 \end{cases} \tag{4.7}$$

Şeklinde elde edilir.

4.3. Temel Bileşenler Dönüşümü (TBD)

Çok spektrallı verilerin faklı bantları yüksek korelasyonludur, dolayısıyla benzer bilgiler içerirler. Temel bileşenler dönüşümü, çok spektrallı veriler arasında bulunan korelasyonu gidermek amacıyla verileri yeni bir koordinat sistemine dönüştüren bir veri dönüşümü yöntemidir. Bir tür veri sıkıştırma işlemi olan ana bileşenler dönüşümü uzaktan algılamada, çok spektrallı veri gruplarında benzer bantları bastırmak ve daha çok bilgi veren yeni bir veri grubu oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Ana bileşenler dönüşümü sonucunda elde edilen yeni veri grubundaki ilk üç bant (en fazla bilgiyi içermesi nedeniyle) kullanılır (Kaya, 1999).



Şekil 4.3. Temel bileşen ekseninin, x1,x2 ve x3 eksenlerine göre veriyi temsil etme aralığı

Bu dönüşümde, uydu görüntülerindeki parlaklık değerleri, yeni bir koordinat sisteminde tekrar hesaplanır. Ana bileşen dönüşümünde elde edilen yeni veri grubundaki pikseller, yeni koordinat sistemine yerleştirildiklerinde 1. Ana bileşen ekseni (PC1), en yüksek varyansa sahiptir ve en fazla bilgiyi içermektedir (Musaoğlu, 1999). Ana bileşen dönüşümün eşitlikleri;

$$\begin{bmatrix} PC1 \\ PC2 \\ PC3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/4 & 1/2 & -1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{4.8}$$

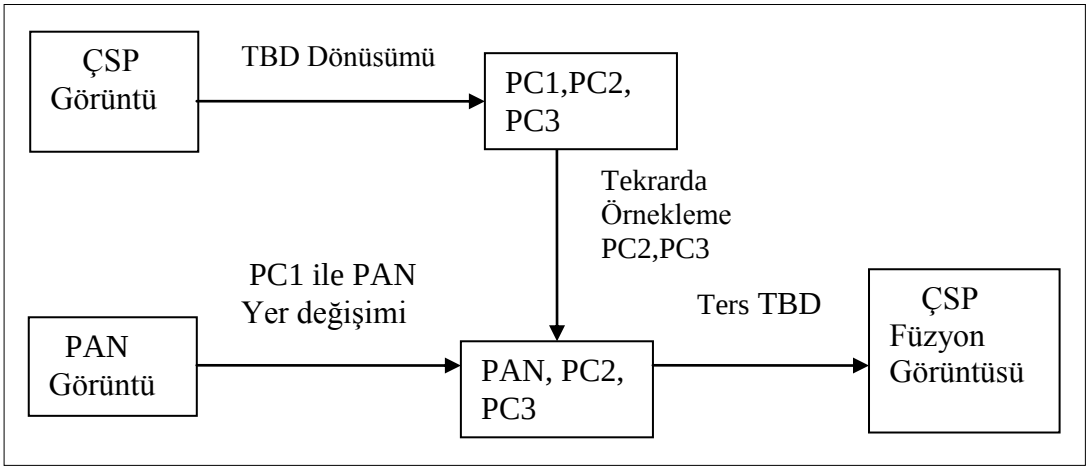
Ters dönüşüm ise;

$$\begin{bmatrix} R_{yeni} \\ G_{yeni} \\ B_{yeni} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2/3 \\ 1 & 0 & 4/3 \\ 1 & -1 & -2/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Pan \\ PC2 \\ PC3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 + \delta' \\ G_0 + \delta' \\ B_0 + \delta' \end{bmatrix}, \ \delta' = PAN - PC1 \qquad (4.9)$$

Birinci temel bileşen (PC1) bilginin çoğunu içerir. Pankromatik bant ilk temel bileşen yerine koyulur. Pankromatik görüntü ile yer değiştirildikten sonra ters TBD dönüşümü uygulanarak görüntü önceki görüntüye çevrilerek işlem tamamlanır. Şekil 4.4'te Temel Bileşenler Yer Değiştirme akış seması verilmektedir.

TBD sinyal işlemede, istatistikte ve diğer birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Karhunan-Loéve Dönüşümü, Hotelling Dönüşümü veya Özvektör (*Eigen-vector*) isimleriyle de bilinmektedir (Uğurlu, 2006).

TBD sonuçları IHS sonuçlarına göre çok daha iyidir. Anlam ifade edebilecek uyuşumsuzluklar parlak nesnelerin çevresinde görünür. Renk tonlaması açısından görüntü kabul edilebilecek niteliktedir. Ancak TBD algoritması çalışma alanının içeriğine doğrudan bağlıdır (Uğurlu, 2006).



Şekil 4. 4. TBD tabanlı füzyonun akış şeması

4.4. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık teorisinin tarihsel gelişimi, 20. yüzyılın aşlarında Macaristanlı matematikçi Alfred Haar'ın çalışmalarıyla başlamıştır.

Bu çalışma içerisinde iki tür dalgacık dönüşümü (ADD) kullanılmıştır. Ancak temel kavramların anlaşılabilmesi için, öncelikle Fourier dönüşümü (FD), kısa-zaman

Fourier dönüşümü (KZFD) ve sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) hakkında temel bilgiler verilecektir.

Durağan sinyalleri incelemek için FD kullanılır. FD ile bu sinyaller, sinüs ve kosinüs dalgalarının lineer birleşime ayrışırlar (Ayaz, 1997).

Fourier analizi kullanılarak, sinyalin frekans spektrumu oluşturulur. Ancak bu yöntem frekans değerlerinin hangi zaman dilimlerine karşılık geldiği hakkında bilgi vermez. Bunun sebebi standart Fourier analizinde kullanılan taban fonksiyonlarının sınırsız olmasıdır. Bu nedenle sinyalin zaman bilgisini içermez. Bu sebeplerden dolayı FD durağan olmayan sinyallerin analizinde yetersiz kalır (Altın, 2007).

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f\ (t)\cos(\omega t)dt + j\int_{-\infty}^{\infty} f\ (t)\sin(\omega t)dt \tag{4.10}$$

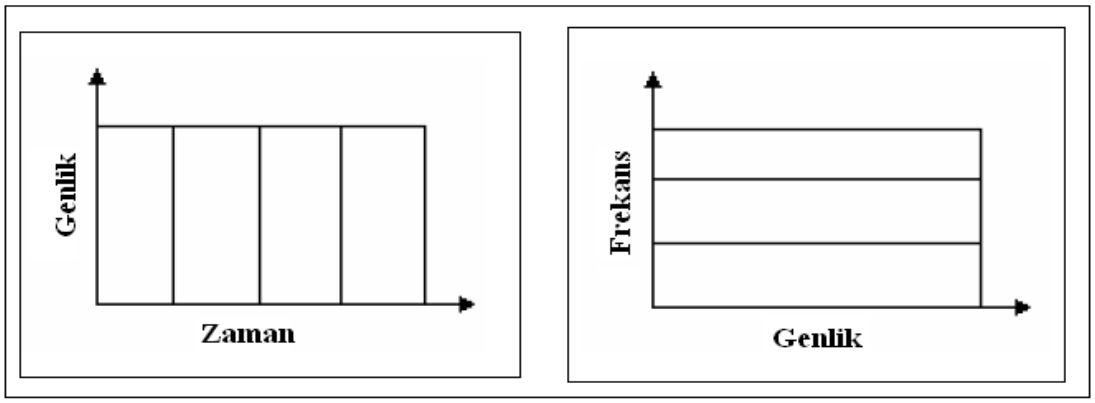
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f\ (t)e^{-2j\pi\omega t}dt \tag{4.11}$$

t; zaman, w; frekans, *F*; frekans ortamında sinyal genliğidir. *f(t)* ise sinyalin zaman ortamındaki genliği (şiddeti) dir.

Dönüşümün tersi ise;

$$f\ (t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{2j\pi\omega t}d\omega \tag{4.12}$$

Doğadaki sinyaller büyük çoğunluğu durağan olmayan sinyallerdir. Durağan olmayan sinyallere en iyi örnek olarak insan sesi verilebilir. Sinyaller belirli zaman aralıklarında incelendiğinde, frekans spektrumları daha iyi gözlemlenebilir. Hem zamanda hem de frekansta sınırlı fonksiyonlar kullanılarak sinyalin analizi yapılırsa zaman ve frekans düzlemlerinde sinyal daha iyi incelenebilir (Altın, 2007).



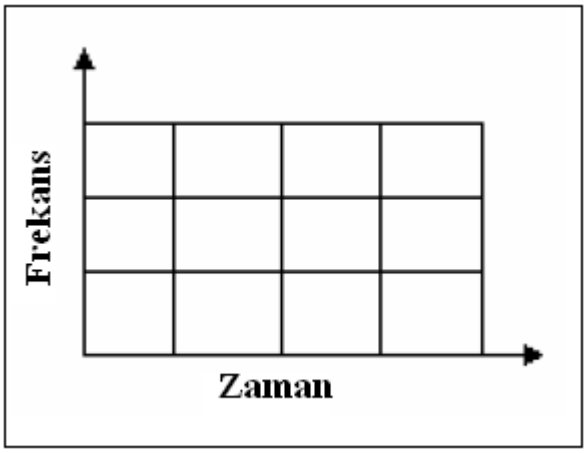
Şekil 4.5.a) Zaman Alanı (Shannon) **Şekil 4.5.b)** Frekans Alanı (Fourier)

Bu amaçla sinyaller bir pencere fonksiyonu ile çarpılıp, sinyalin bu pencere fonksiyonu içerisinde kalan kısmının FD göz önünde bulundurularak frekans spektrumu incelenir. Bu işlemler, pencere fonksiyonu zaman ekseninde ötelenerek tekrar edilir. Böylece sinyal bütün zaman ekseninde incelenmiş olur. Sinyal durağan olmasa bile bu pencere fonksiyonu içerisinde kalan kısım durağan olur veya durağan kabul edilir. Böylelikle pencere fonksiyonunun öteleme miktarına ve frekans değerine bağlı olarak sinyal incelenebilir. Bu inceleme sonunda sinyalin zaman-frekans gösterimi elde edilir. Bu yöntem kısa süreli FD olarak adlandırılır ve Gabor tarafından önerilmiştir (Altın, 2007).

$$KZFD(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[x(t) \cdot w^{*}(t-\tau) \right] \cdot e^{-j\,2\pi f t} \cdot dt \qquad (4.13)$$

x(t), orijinal sinyali; *w(t),* pencere fonksiyonunu ve *, karmaşık eşleniği göstermektedir. *f,* frekans; τ ise zamanda öteleme miktarıdır.

KZFD'de hem yüksek hem düşük frekansta aynı büyüklükteki pençeler kullanmaktadır. Pencere büyüklüğü analiz boyunca sabittir. Pencerenin ebatları küçülürse, zaman çözünürlüğü artar, ama frekans bilgisi kaybolur. Tersi durumda da frekans çözünürlüğü iyi, zaman çözünürlüğü düşük olacaktır. Pencere genis tutulduğunda düşük frekanslı bileşenler, dar tutulduğunda ise yüksek frekanslı bileşenler başka bir deyişle ayrıntılar görülebilir (FİDAN, 2006).



Şekil 4.6. Kısa Zaman Fourier Dönüşümü için zaman-frekans değişimi

KZFD'nin sinyallerinin zaman-frekans gösteriminin elde edilmesindeki bu dezavantajın giderilmesi için; KZFD'ye karşılık değişken zaman-frekans çözünürlüğünün elde edilebileceği Dalgacık dönüşümü geliştirilmiştir (Arısoy, 2003).

Dalgacık dönüşümü sinyallerin zaman-frekans gösteriminin elde edilmesi için kullanılan bir matematiksel dönüşüm fonksiyonudur. Dalgacık dönüşümü günümüze kadar bağımsız olarak farklı birçok bilim dalında gelişmiştir. Kuantum fiziğinde, jeofizikte, elektrik-elektronik mühendisliğinin sayısal sinyal işleme, biyomedikal sinyal işleme, sayısal görüntü işleme gibi alanlardaki çalışmalar günümüzdeki görüntü sıkıştırma, görüntü füzyonu, türbülans, radar ve deprem tahmini gibi bir çok dalgacık uygulamasının geliştirilmesine vesile olmuştur (Arısoy, 2003).

Dalgacık dönüşümü üzerinde geliştirilen yaklaşımlar son yıllarda görüntü füzyon alanının en çok ilgilendiği yaklaşımlar olmuştur (Bulatov, 2006).

Dalgacık dönüşümü de farklı pencere genişlikleri, ölçek çarpanı (faktörü) değiştirilerek "*Ana dalgacık fonksiyonu*" olarak adlandırılan tek bir fonksiyon ile sağlanır. Dalgacık dönüşüm'deki baz fonksiyonları 'dalgacıklar' olarak adlandırılır (Gümüş, 2003).

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t)dt = 0 \qquad (4.14)$$

Dalgacıkların ortalaması sıfırdır.

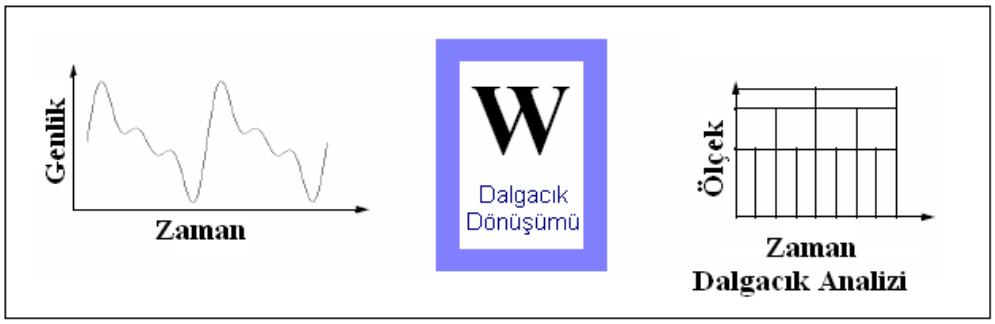
Farklı genişlikteki baz fonksiyonları, ortalaması sıfır olan ve sonlu enerjili Ana dalgacık fonksiyonu ψ(t) ' ın ötelenmesi ve ölçeklenmesi ile istenilen genişlik ve zaman aralığında meydana getirilirler. Baz fonksiyonlarının ifadesi Denklem 4.15' te verilmiştir.

$$\psi_{s,u} = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right), s, u \in R, \tag{4.15}$$

Ölçek parametresi s, haritadaki ölçeğe benzer. Haritalardaki durum gibi yüksek ölçek detaylı olmayan genel görünümler, düşük ölçek detaylı görünümler için uygundur. ölçekleme, bir sinyalinin zaman-genlik gösterimini sıkıştıran veya açan (genişleten) bir matematiksel dönüşümdür. Matematiksel ifade olarak belirtmek gerekirse; f(t) verilen fonksiyon (sinyal) ise f(s) fonksiyonun ölçeklenmiş matematiksel ifadesi olmaktadır. Küçük ölçek değeri sinyali sıkıştırmak, büyük ölçek değeri sinyali açmak için uygundur. s ölçekleme parametresine, 0 < s <1 aralığında değerler verilirse sinyal açılmış olur, s >1aralığında değerler verildiğinde ise sinyal sıkıştırılmış olur (Gümüş, 2003).

Ana Dalgacık fonksiyonu ifadesine dikkat edilirse s ölçekleme parametresi paydada yer almaktadır. Yani s ölçeklendirme parametresine, s >1 aralığında değerler verildiğinde sinyal açılmış diğer bir deyişle zaman ekseni boyunca parametre değerine göre gerilmiş, genişliği artırılmış olur ve böylece alçak frekans bileşenlerinin analizi için uygun pencere genişliği elde edilir. s parametresine, 0 < s <1 aralığında değerler verildiğinde ise sinyal zaman ekseninde sıkıştırılmış, yani eni daraltılmış olur ve böylece yüksek frekans bileşenlerinin analizi için uygun pencere genişliği elde edilir (Gümüş, 2003).

$1/\sqrt{s}$ Çarpanı ise, normalizasyon çarpanıdır. Bu çarpan sayesinde Ana Dalgacık fonksiyonundan elde edilen pencere fonksiyonlarının enerjisinin, Ana Dalgacık fonksiyonunun enerjisi ile aynı olması sağlanır (Gümüş, 2003).

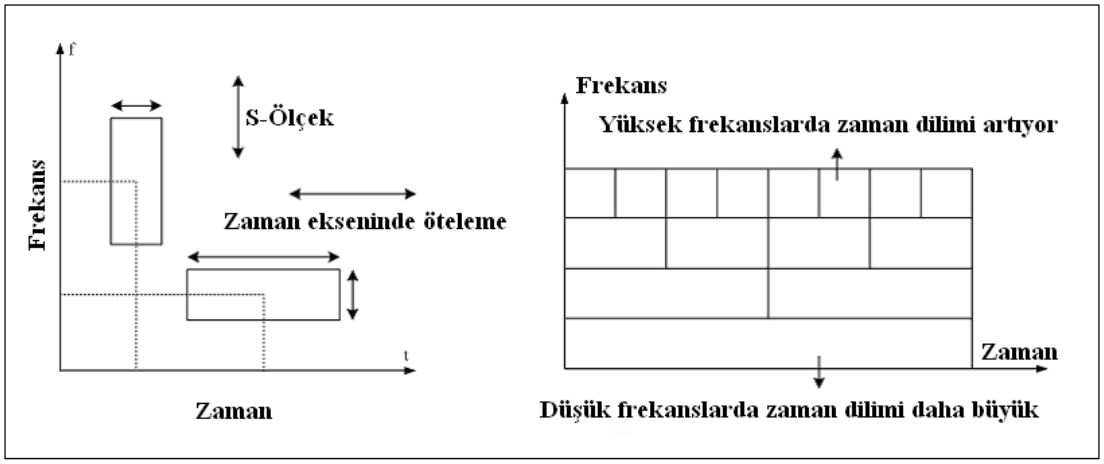


Şekil 4.7. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümleri analiz yöntemlerine göre Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olarak ikiye ayrılmaktadır. Sayısal uygulamalarda ADD, analog uygulamalarda da SDD kullanılmaktadır (FİDAN, 2006). Buradaki amaç, yüksek ve düşük frekans bileşenlerini ayrı ayrı inceleyip, zaman-frekans çözünürlüğünü yüksek tutmaktır.

4.4.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD)

SDD zamana göre frekansı değişen sinyallerin analizinde, zaman–frekans diyagramı elde edilir. Zaman–frekans diyagramı en uygun olarak elde edilir. Analizi yapılacak fonksiyon istenildiği gibi seçilebilir. Esasen bu dönüşüm Fourier dönüşümünün genelleştirilmiş halidir. Fiziki olarak bu dönüşümde değişken modüle edilmiş aralık bütün sinyal süresince kaydırılır, her yeni konum için faz spektrumu araştırılır. Bu işlem süreci kısa ve uzun aralıklarla tekrar edilir (Akıncı, 2005).



Şekil 4.8. Zaman – Frekans diyagramı

Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir. Bu ifade de f(t) fonksiyonu ile ψs,τ (t) dalgacık (wavelet) fonksiyonunun eşleniği ile çarpımının entegrali görülmektedir (Akıncı, 2005).

$$SDD(s,\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\psi_{s,\tau}^{*}(t)dt \tag{4.16}$$

$$\psi_{s,T(t)} = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi(\frac{t-\tau}{s}) \tag{4.17}$$

Yukarıdaki eşitlik'te * eşleniği simgelemektedir, s parametresi ölçek ve τ ise kaydırma parametresidir.

Dalgacık dönüşümünün bir diğer avantajı da çözümleyici dalgacığın, uygulamalara bağlı olarak seçilebilmesidir (Iyama ve Kuamura, 1999). Dalgacıklar, genellikle onları bulan ve geliştirenlerin isimlerini almışlardır. Oldukça fazla bilinen Daubechies, Meyer, Haar, Coiflet, Mexican Hut ve Symlet dalgacık tipleri bunlardan birkaçıdır (Çolak, 2006).

4.4.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü(ADD)

ADD, dalgacık dönüşümünü bilgisayar ortamına aktarmak için geliştirilmiştir. ADD' de ölçek değerleri 2'nin kuvvetleri biçiminde seçilir. Bu dyadik seçim belli noktalarda katsayıları hesaplar, böylece işlem sayısı azalır. (FİDAN, 2006).

Sürekli dalgacık dönüşümü eşitliğinde a ölçek katsayısı yerine 2^{-j} ve *b* öteleme katsayısı yerine de $k2^{-j}$ konulursa:

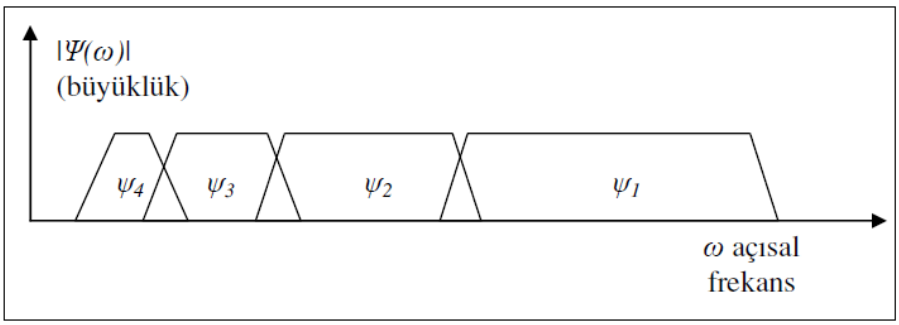
$$\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi(\frac{t-b}{a}) = \frac{1}{\sqrt{2^{-j}}}\psi(\frac{t-2^{-j}}{2^{-j}}) \tag{4.18}$$

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\psi(2^{-2j}t-k) \qquad j,k \in Z \tag{4.19}$$

elde edilir. Ters dönüşümün seri açılımı da:

$$f(t) = \sum_{j,k}\alpha_{j,k}\,2^{j/2}\psi(2^{j}t-k) \tag{4.20}$$

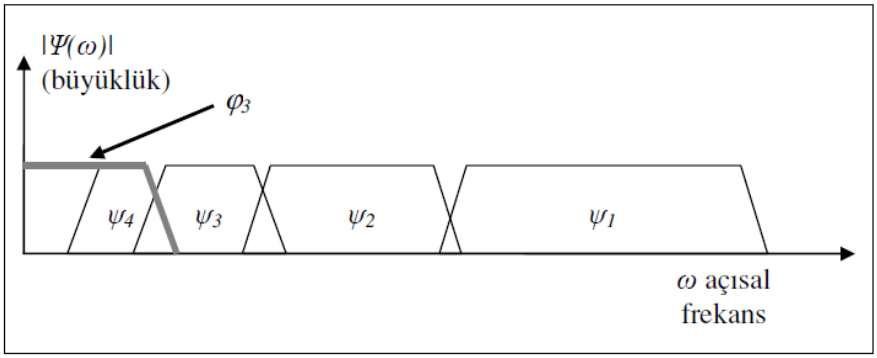
Şeklini alır. *j* indisi dalgacığın ölçeğini (büyüklüğünü) belirlemektedir, *j* arttıkça ölçek azalmaktadır. Dönüşüm seviye seviye yapılmaktadır, bu seviye *j* indisi ile ters orantılıdır. Dönüşüm seviyesi ilerledikçe dalgacığın ölçeği 2 kat artmaktadır. Zaman ekseni de aynı şekilde örneklenmektedir. Seviye her arttırıldığında dalgacık fonksiyonu iki kat genişlemekte ve hesaplanacak katsayı miktarı yarıya düşmektedir (Umr, 2005). ADD her seviye artırımında dalgacık 2 kat genişlemekte.



Şekil 4.9. ADD'de ilk 4 seviye için dalgacık fonksiyonu ile frekans bandının kaplanması

Ancak bu yöntemde tüm spektrumu kaplamak için sonsuz sayıda dalgacık gerekir. Çünkü her seferinde dalgacık fonksiyonunun bandı yarıya düşer ve sıfıra ulaşmak mümkün olmaz. Bu sorunu gidermek ve analizde kullanılacak dalgacık fonksiyonu sayısını düşük tutmak için alçak-geçiren frekans karakteristiği olan ölçek fonksiyonu geliştirilmiştir. Bu özellik kullanılarak belirli bir seviyede analiz kesilerek sinyalin tüm frekans bandı kullanılan dalgacık fonksiyonu sayısını sonsuza götürmeye gerek kalmadan kaplanabilir. Şekil 4.10'de görüldüğü gibi dalgacık fonksiyonu tarafından analiz 3. seviyeye kadar götürülür ve geri kalan kısım ölçek fonksiyonu tarafından tamamlanır ($f=\Phi 4+\psi 3+\psi 2+\psi 1$) (FİDAN, 2006).

.



Şekil 4.10. ADD'de ilk 3 seviye için ölçek ve dalgacık fonksiyonları ile frekans bandının kaplanması

Bu sorunlar nedeniyle ADD'de $\psi_{i,j}(t)$ dalgacık fonksiyonun yanında, ikinci bir baz fonksiyonu olarak $\Phi_k(t)$ ölçek fonksiyonu da tanımlanır. Bu iki baz fonksiyonu kullanılarak $f(t)$ sinyalinin ayrık dalgacık açılımı (FİDAN, 2006):

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} c(k)\varphi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=-0}^{\infty} d(j,k)\psi_{j,k}(t) \tag{4.21}$$

$$f(t) = \sum_{k} c_{j_0}(k)2^{j_0/2}\varphi(2^{j_0}t - t) + \sum_{k}\sum_{j=j_0}^{\infty} d_j(k)2^{j/2}\psi_{j,k}(2^{j/2}t - k) \tag{4.22}$$

Şeklinde yazılır.

Yukarıdaki açılımdaki katsayılar ayrık dalgacık dönüşümü katsayılarıdır. Burada $d(j,k)$ *ayrıntı* (detail) katsayıları, $c(k)$ ise *yaklaşım* (approximation) katsayıları olarak adlandırılır. j indisi ölçeği (frekans bilgisini), k indisi ise konumu (zaman bilgisini) vermektedir. Açılımda yaklaşıklık katsayıları sadece j^0 ölçeği (son seviyeye ait ölçek değeri) için hesaplanmakta, ayrıntı katsayıları ise j^0'dan sonraki tüm ölçekler (son seviyeye kadarki tüm ölçek değerleri) için hesaplanmaktadır (FİDAN, 2006) .

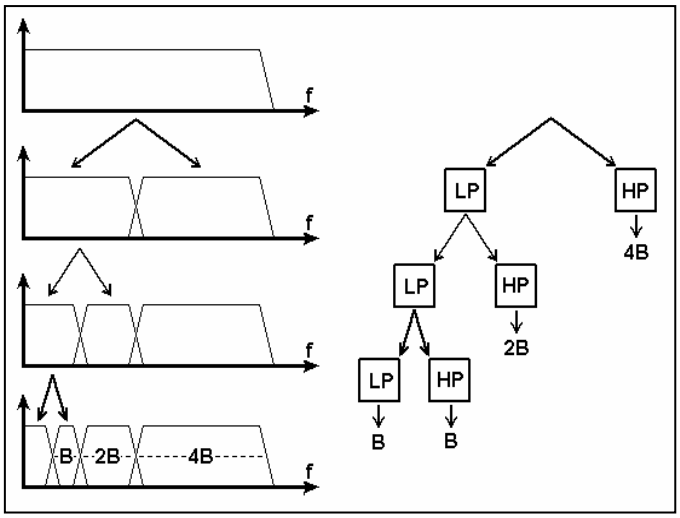
Ayrık dalgacık dönüşümünde amaç $d_j(k)$ ve $c_j(k)$ katsayılarını bulmaktır. Bu katsayıları bulmak için alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin kullanıldığı *altbantlara ayırma* yöntemi kullanılır. Sinyal alçak geçiren filtreden geçirildiğinde hala gerçek sinyale benzediği için $c_j(k)$'ya yaklaşım katsayıları denir. Amaç, bu katsayılardan *alçak geçiren* filtreler elde etmektedir. Bir sinyalin ana hatları düşük frekans bileşenlerinde gizlidir. $d_j(k)$ ayrıntı katsayıları yüksek frekans bileşenlerini (hızlı değişimleri, ayrıntıları) göstermektedir ve *yüksek geçiren* filtreler ile elde edilir (Fidan, 2006).

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} c(k)\varphi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=-0}^{\infty} d(j,k)\psi_{j,k}(t) \tag{4.23}$$

4.5. Fitlere Bankası ve çoklu çözünürlük analiz

Eğer dalgacık dönüşümü filtre bankası olarak düşünülürse, sinyallerde bu filtre bankasından geçen sinyaller olarak kabul edilir. Farklı filtreleme aşamalarının çıktıları, dalgacık ve ölçekleme fonksiyon dönüşüm katsayılarıdır (Göçeri, 2006).

Sinyal tayfı (spektrum) alçak geçiren ve yüksek geçiren parçalar olmak üzere iki eşit parçaya bölmektir. Yüksek geçiren bölüm ilgilenilen en küçük detayları içerir. Sonuçta, iki bölüme sahip olmakla birlikte alçak geçiren bölüm hala bazı detayları içermektedir ve bu nedenle onu tekrar bölümleyebiliriz. Bu yöntem ile bir türetilmiş filtre bankası oluşturulur. Genellikle bantların sayısı veri miktarı veya mevcut olan hesaplama gücü ile sınırlıdır. Tayfı (spektrum) bölümleme işlemi grafiksel olarak aşağıdaki şekilde görüntülenmektedir (Göçeri, 2006) .



Şekil 4.11. Altbant kodlama

ADD, sinyali kaba bir yaklaşık sinyale ve detay sinyale ayrıştırarak, farklı frekans bantlarında farklı çözünürlüklerde analiz eder. ADD iki fonksiyon kümesi kullanır; bunlar sırasıyla, alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelere karşılık gelen ölçek fonksiyonu ve dalgacık fonksiyonudur. Sinyali farklı frekans bantlarına ayrıştırmak, zaman dümeni sinyalini ardı ardına yüksek ve alçak geçiren filtrelerden geçirerek sağlanır. Orijinal *x(n)* sinyali önce yarım bantlı yüksek geçiren *g(n)* filtresinden ve ardından alçak geçiren *h(n)* filtresinden geçirilir (Ayaz, 1997). Sonuçta, iki bölüme sahip olmakla birlikte alçak geçiren bölüm hala bazı detayları içermektedir ve bu nedenle onu tekrar ayrıştırabiliriz (Altınbaş, 2007).

Ölçek ve dalgacık fonksiyonları arasındaki ilişki (Group, 2004):

$$\varphi_k(t) = \sum_n h(n)\sqrt{2\varphi_k}(2t-n) \tag{4.24}$$

$$\psi_{j,k}(t) = \sum_n g(n)\sqrt{2\varphi_k}(2t-n) \tag{4.25}$$

Biçiminde verilir.

Yukarıdaki eşit 4.24'e *çoklu çözünürlük analiz* (multi-resolution analysis) eşitliği ya da *ölçekleme* (dilation) eşitliği denilir. Buradaki $h(n)$ katsayıları ölçek filtresidir. ikinci eşitlik ise *dalgacık eşitliği, g*(*n*) katsayıları dalgacık filtresidir. $h(n)$ filtresi alçak geçiren, $g(n)$ ise yüksek geçiren filtredir (Fidan, 2006). ADD katsayıları eşit 4.24 ve eşit 4.25'de tanımlanmış olan filtreler cinsinden aşağıdaki gibi gösterebilir (Group, 2004):

$$c_j(k)\sum_m h(m-2k)c_{j+1}(m) \tag{4.26}$$

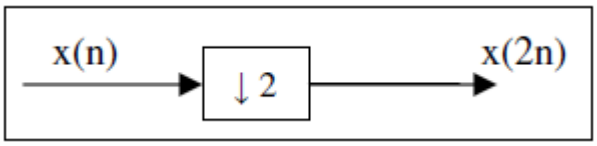
$$d_j(k) = \sum_m g(m-2k)c_{j+1}(m) \tag{4.27}$$

Görüldüğü gibi $c_j(k)$ katsayıları bilindikten sonra diğer seviyelere ait $c_j(k)$ ve $d_j(k)$ katsayıları $h(n)$ ve $g(n)$ filtreleri kullanılarak hesaplanabilir (Fidan, 2006). $c_j(k)$ ve $d_j(k)$ dalgacık katsayılarını hesaplamak için verilen eşit 4.26 ve eşit 4.27 sayısal sinyal işlemede çok yaygın olarak kullanılan ve

$$y(n) = x(2n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \tag{4.28}$$

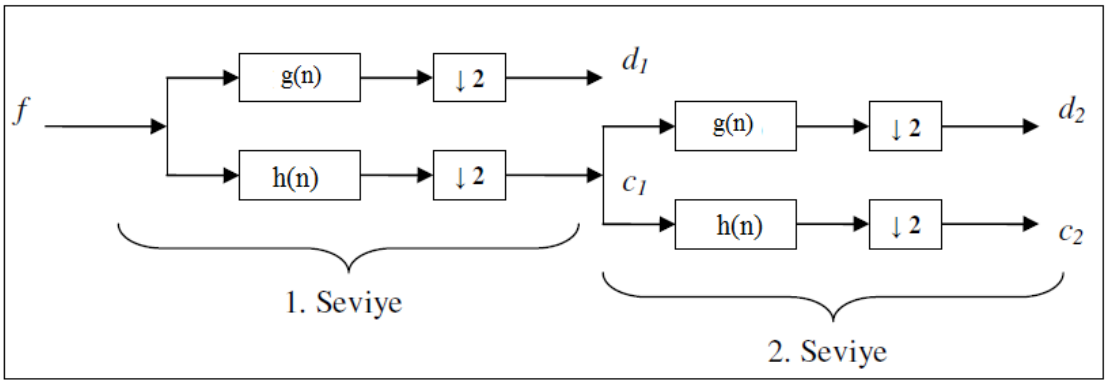
ile verilen filtreleme eşitliğine benzemektedir. $x(n)$ giriş dizisi, $h(n)$ filtre katsayıları olmak üzere filtrelenmiş çıkış dizisi $y(n)$'dir. $c_j(k)$ ve $d_j(k)$ katsayılarının eşitlikleri *asagıörnekleme* (down-sampling) eşitliğidir. Şekil 4.12'de gösterildiği gibi aşağı-örnekleme işleminde $x(n)$ giris dizisi $y(n)=x(2n)$ gibi bir çıkış dizisi oluşmakta, eleman sayısı yarıya düşmektedir. Bu işlemin frekans tanım bölgesindeki karşılığı frekans spektrumunun alt yarısını seçip almaktır.

Eleman sayısının yarıya düşmesi örnekleme frekansını da yarıya düşürecektir, dolayısıyla, sinyalin sahip olduğu en yüksek frekansın yarı değerine kadar tüm frekanslar kalacaktır (Fidan, 2006).



Şekil 4.12. Aşağı örnekleme

Ayrık dalgacık dönüşümünde de bir çeşit aşağı-örnekleme yapılmaktadır. sinyal alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek örneklenmekte ve frekans bantlarına ayrılmaktadır. Bu süreç şekil 4.13'de gösterilmiştir (Fidan, 2006). Her *j* seviyesinde sonuç *j*-seviye c_j yaklaşımı ve d_j detay sapması olarak bulunur. Sinyaldeki düşük frekans bilgisi genelde sinyalin en önemli bölümüdür ve bu yaklaşım bilgisini taşıyan bölümdür. Yüksek frekans bilgisi genelde sinyalin istenmeyen kısımlarıdır (Group, 2004). Bu yöntem ile bir türetilmiş filtre bankası oluşturulur.



Şekil 4.13. Alçak geçiren h1(n) ve yüksek geçiren h2(n) filtrelerinden geçen d ve c sinyalleri

Çoklu seviye durumunda bir önceki yaklaşım c_j bir sonraki *j* basamağındaki ayrışma seviyesi için giriştir. Bu aşamalar böyle devam eder. Dönüşümde seviye ilerledikçe aşağı örnekleme nedeniyle veri sayısı ve kaplanan frekans bandı yarıya düşmektedir (Fidan, 2006).

Aynı ayrıştırma seviyesindeki iki filtre çıkışı üst-örneklenip sentez filtrelerden geçirildikten sonra toplanırsa orijinal *x(n)* sinyali elde edilir. Bu sayede, dalgacık

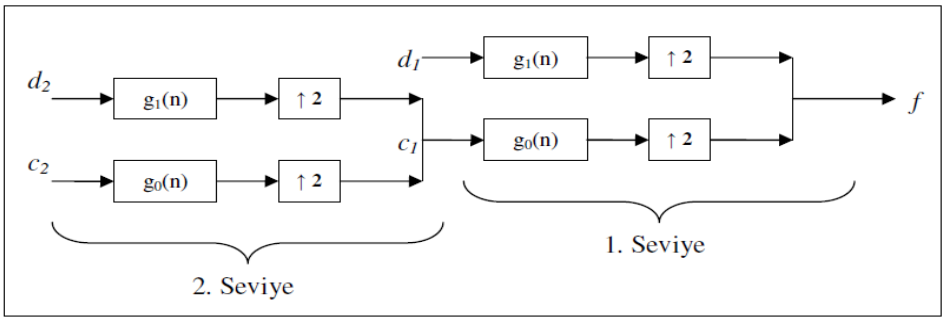
dönüşümü uygulanan sinyal dalgacık katsayılarından tekrar oluşturabilmektedir, yani geri çatma mümkündür.

ADD sentez kısmı da aynı şekilde alçak ve yüksek geçiren filtreler ile yapılmaktadır. Sentez filtrelerinin tek farkı, analiz filtrelerinin zaman eksenine göre tersi (time reversal) olmalarıdır. sinyali ADD katsayılarından sentezlemek için yaklaşıklık katsayıları alçak geçiren filtreden ve ayrıntı katsayıları yüksek geçiren filtreden geçirilerek bir önceki seviyenin yaklaşıklık katsayıları elde edilir. Aynı işlem sonraki seviyeler için de tekrarlanır ve sinyale ulaşılır. Bu sürece ait eşitlik aşağıda verilmiştir (FİDAN, 2006) :

$$c_{j+1}(k) = \sum_m g_0(k-2m)c_j(m) + \sum_m g_1(k-2m)d_j(m) \qquad (4.29)$$

Çoklu çözünürlük metotlarının ortak özelliği, giriş görüntülerinin altbantlara ayrıştırılması (analiz) , bu altbantlara füzyon işlemi uygulanarak, geriye dönülmesidir (sentez). Bu noktada, altbantlarına ayrılmış görüntüden, orijinal görüntüyü tam olarak elde edebilmek (perfect reconstruction) gerekmektedir. Aksi halde, orijinal görüntülerdeki verilerin önemli kısmı kaybedilebilir (Kaplan, 2008).

Sentez (yeniden yapılandırma), analizin (ayrışmanın) tersidir. Sinyalin ayrışan bileşenlerinin toplanması ve orijinal sinyalin tekrar elde edilmesidir sentez filtreleri *yukarı-örnekleme* (up-sampling) yapmaktadır, yani eleman sayısını iki katına çıkarmaktadır. Analizde olduğu gibi sentezde de süreç yaklaşıklık katsayıları üzerinden yapılmaktadır. 2.seviye katsayıları c_2 ve d_2 filtrelenerek 1.seviye yaklaşıklık katsayıları c_1 elde edilir. Aynı şekilde 1. seviye katsayıları c_1 ve d_1 filtrelenerek sinyal elde edilir (Group, 2004).



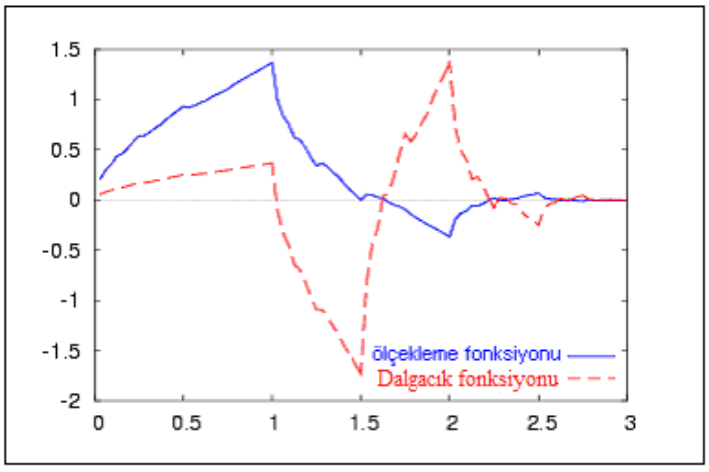
Şekil 4.14. Yeniden yapılandırma adımı. Üst örnekleme işlemi ayrıştırmada uygulanan aşağı

Örnekleme adımını düzeltmek için kullanılır. Üst örnekleme işlemi her bir diğer örneğe 0 ekleyerek yapılır (Group, 2004). Yeniden yapılandırma basamağında filtre seçimi orijinal sinyalin tam olarak elde edilebilmesinde önemlidir. Bir sinyalin aşağı örneklemesi yapılırken anlamsız bilgiler içeren bir örneği oluşur. Bunu önleyebilmek için ayrışma ve yeniden yapılandırma için birbirlerine benzeyen filtreler seçilmelidir. şekil 4.13'daki alçak geçiren ve yüksek geçiren ayrışma filtreleri ve şekil 4.14'daki alçak geçiren ve yüksek geçiren yapılandırma filtreleri birlikte *dörtlü ayna filtreleri* denilen yapıyı oluşturur (Fidan, 2006).

Uygulama alanlarındaki tartışlar hangi dalgacık dönüşümünün hangi uygulama için daha iyi olabileceği sorusunu beraberinde getirmiştir. Bunun için kesin bir sonuç bulunmamaktadır ve yapılan uygulamalardan elde edilen sonuçlara göre değişkenlik göstermektedir (Daubechies ve Parameswariah, 2003). Görüntülerde iyi sonuç vermesi Daubechies ve Haar dalgacıkları kullanılmıştır. Daubechies dalgacık dönüşümü Haar Dalgacık dönüşümü ile aynıdır. Tek fark dalgacık ve ölçek fonksiyonlarının içeriğindedir (Akıncı, 2005).

4.6. Daubechies D-4 Dalgacık Dönüşümü

Bu Çalışmada Daubechies D-4 dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Daubechies dalgacık dönüşümü, ismini kaşifi olan matematikçi Ingrid Daubechies'ten almıştır. Bu dalgacık fonksiyonlarının açık ifadeleri yoktur. Simetrik değildir. *N* derece olmak üzere Daubechies dalgacığının uzunluğu 2*N*-1 kadardır (Avcı, 2009).



Şekil 4.15. D-4 Dalgacıkın dalgacık ve ölçekleme fonksiyonları

Daubechies dalgacık dönüşümü bir sinyali, h katsayılarına bağlı olarak oluşturulan dört adet ölçekleme fonksiyonu ve g katsayılarına bağlı olarak oluşturulan dalgacık fonksiyonuna bağlı olarak tanımlar.

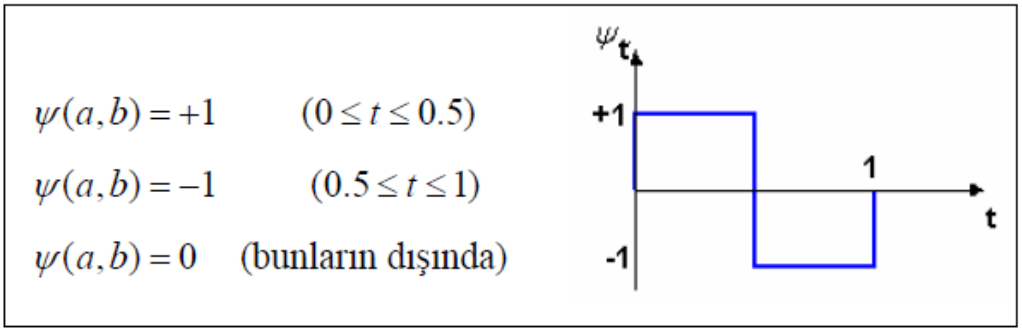
h ve g arasında şöyle bir ilişki vardır: g1 =h4, g2 = −h 3, g 3=h 2ve g 4= −h1 .

$$h1 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \qquad h_2 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \qquad h_3 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \qquad h_4 \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \tag{4.30}$$

$$g_1 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \qquad g_2 = \frac{\sqrt{3}-3}{4\sqrt{2}}, \qquad g_3 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \qquad g_4 = \frac{-1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \tag{4.31}$$

4.7. Haar Dalgacık Dönüşümü

Bu dönüşüm çeşidi aynı zamanda Daubechies D-2 dönüşümü olarak da bilinir. Bilinen en basit dalgacık vektörleri olup, 1910 yılında Haar'ın doktora tezinin ekler bölümünde ortaya çıkmıştır. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi bir takım dik (ortogonal) vektörlerden oluşmaktadır. Bu vektörler belirli bir Aralıklarda +1 ve -1 değerini alıp, diğerlerinde sıfır seviyesindedir. Çok sayıda "sıfır" elemanlar içermesinden ötürü hızlı bir algoritmadır. Şekil 4.16'nın ilk eğrisi ölçek vektörü olarak adlandırılır ve $0 \leq t \leq 0.5$ aralığında +1 değerini almaktadır ($h_0(t) = 1$). İkinci vektör, $h_1(t)$ana dalgacık olarak adlandırılır ve 0 – 1 aralığında değerini almaktadır. Diğer tüm dalgacıklar $h(t)$ 'nin uygun şekilde ötelenmesi ve ölçeklenmesi ile elde edilir, şekil 3.17 gösterilmiştir. $h_2(t)$ vektörü $h_1(t)$ vektörünün ölçeğinin değiştirilmesiyle elde edilir. Bu adımda $h_1(t)$ vektörü 0 – 0,5 Aralığında +1 değerini almakta ve diğer tüm anlarda sıfır değerinde olmaktadır. $h_3(t)$vektörü $h_2(t)$ ile aynı olup, yalnızca zaman ekseninde kaydırılmıştır. Benzer şekilde $h_3(t)$ vektörünü çeyrek periyotta sıkıştırılmasıyla (0 – 0,25 aralığı) $h_4(t)$ elde edilir. Sırasıyla $h_5(t)$, $h_6(t)$, $h_7(t)$ vektörleri de $h_4(t)$ ' nin zaman ekseninde kaydırılması ile elde edilebilmektedir (Ingle,1997).



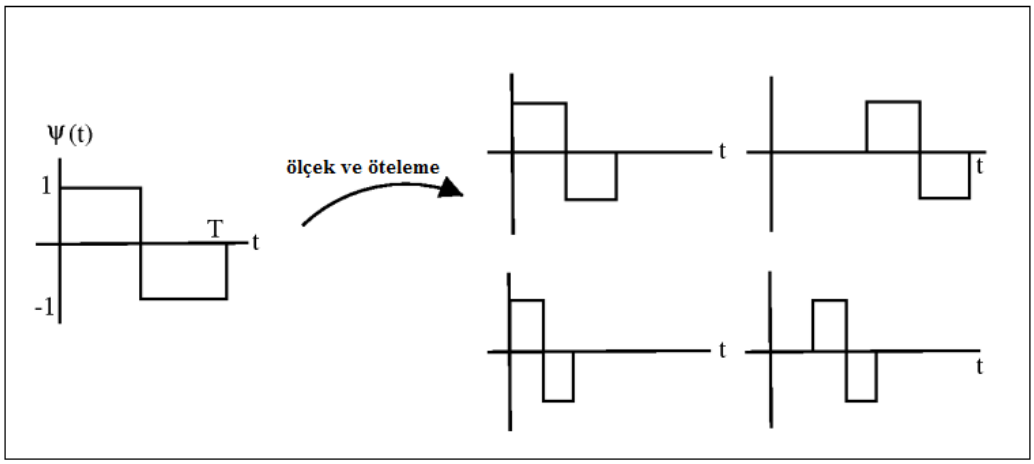
Şekil 4.16. Haar dalgacığı

Haar dalgacık dönüşümü h ölçekleme fonksiyonu katsayıları:

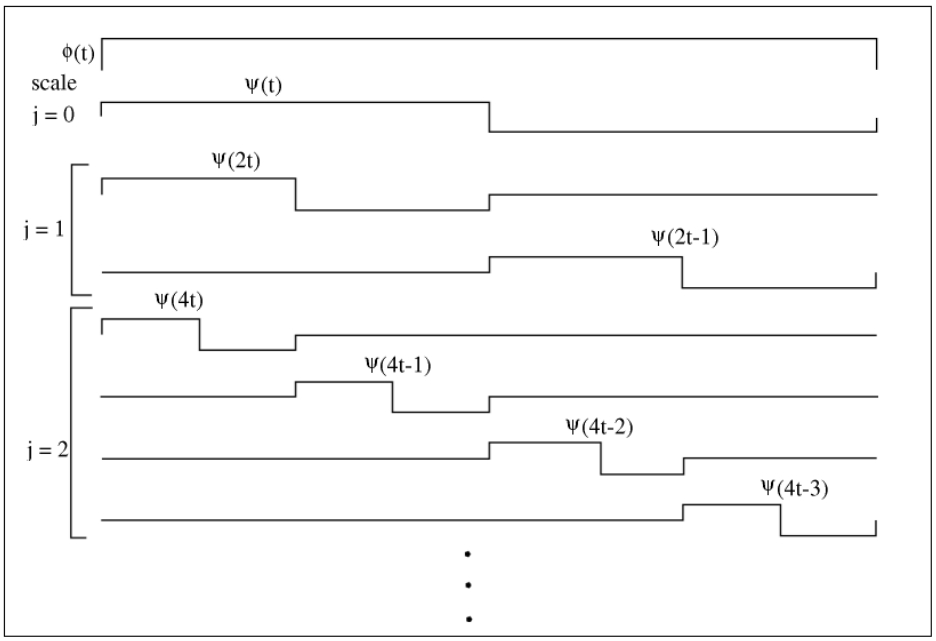
h_0=1/2 , h_1=1/2.

Haarın g dalgacık fonksiyonu katsayıları ise:

g_0= -1/2, g_1=1/2.



Şekil 4.17. Haar ın ölçek ve öteleme şekli



Şekil 4.18. Haar dalgacık bazı

Mevcut dalgacık türleri içerisinde en basit olanıdır. En büyük eksikliği sürekli olmamasıdır. Yani Haar dalgacığı sonlu bir aralık dışında sıfırdır. (Akıncı, 2005).

4.8. Dalgacık Dönüşümünün Matris Biçiminde Uygulanması

Daubechies D-4 dalgacık dönüşümü Kullanımı matris biçiminde ifade edilmesi daha kolay anlaşılabilirlik açısından faydalı olmaktadır. Daubechies D-4 dalgacık dönüşümü dört adet ölçekleme ve dört adet dalgacık katsayısına sahiptir. Ölçekleme fonksiyonu katsayılarının, h_0, h_1, h_2, h_5 ve dalgacık fonksiyonu katsayılarının ise, g_0, g_1, g_2, g_3 olduğu düşünülürse, Daubechies D-4 ölçekleme fonksiyonu,

$$a_i = h_0 s_{2i} + h_1 s_{2i+1} + h_2 s_{2i+2} + h_3 s_{2i+3} \tag{4.32}$$

$$a[i] = h_0 s[2i] + h_1 s[2i+1] + h_2 s[2i+2] + h_3 s[2i+3] \tag{4.33}$$

Daubechies D-4 dalgacık fonksiyonu,

$$c_i = g_0 s_{2i} + g_1 s_{2i+1} + g_2 s_{2i+2} + g_3 s_{2i+3} \tag{4.34}$$

$$c[i] = g_0 s[2i] + g_1 s[2i+1] + g_2 s[2i+2] + g_3 s[2i+3] \tag{4.35}$$

ile ifade edilebilir. Matrissel gösterim kullanılırsa, Daubechies D-4 dalgacık dönüşümünün 8 elemanlı S_0-S_7 sinyaline uygulanışı aşağıdaki biçimde olur (Avcı, 2006).

$$\begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & 0 & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \\ s_7 \end{bmatrix}$$

Haar D-2 dalgacık dönüşümü ise iki adet ölçekleme ve iki adet dalgacık katsayısına sahiptir. Ölçekleme fonksiyonu katsayılarının, h_0, h_1 *ve* dalgacık fonksiyonu katsayılarının ise, g_0, g_1 *olduğu* düşünülürse, Haar D-2 ölçekleme fonksiyonu,

$$a_i = h_0 s_{2i} + h_1 s_{2i+1} \tag{4.36}$$

$$a[i] = h_0 s[2i] + h_1 s[2i+1] \tag{4.37}$$

Haar D-2 dalgacık fonksiyonu

$$c_i = g_0 s_{2i} + g_1 s_{2i+1} \tag{4.38}$$

$$c[i] = g_0 s[2i] + g_1 s[2i+1] \tag{4.39}$$

ile ifade edilebilir. Matrissel gösterim kullanılırsa, Haar D-2 dalgacık dönüşümünün 8 elemanlı S_0-S_7 sinyaline uygulanışı aşağıdaki biçimde olur.

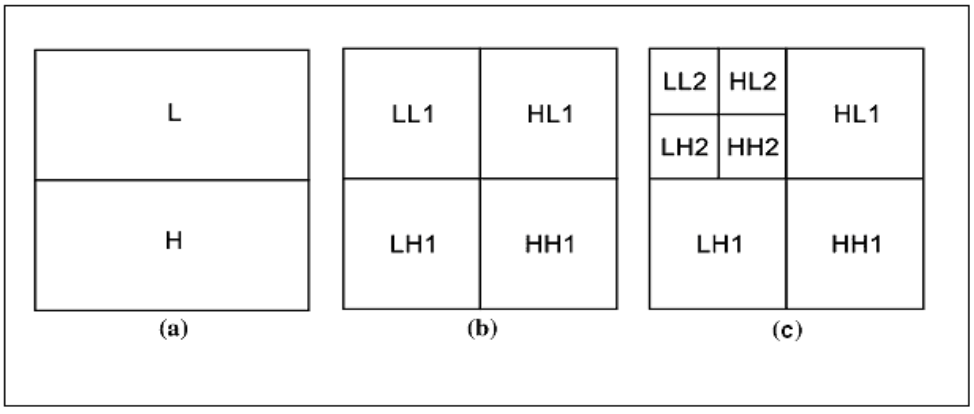
$$\begin{bmatrix} h_0 & h_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ g_0 & g_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_0 & g_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \\ s_7 \end{bmatrix}$$

4.9. Dalgacık Dönüşümünün Görüntülere Uygulanması

İki boyutlu bir resmin ADD'si, tek boyutlu dönüşümler kullanılarak hesaplanır. Bunun için dönüşüm önce tüm satırlar üzerinde ayrı ayrı uygulanır, arkasından aynı işlem bu sefer sütunlar üzerinde yapılır. Bu işlem dört kanallı geri çatma filtre bankasıyla temsil edilir (Hamza, 2008).

- *Düşük-Yüksek* frekans alt-bantlı resim (LH).
- *Yüksek-Düşük* frekans alt-bantlı resim (HL).
- *Yüksek-Yüksek* frekans alt-bantlı resim (HH).
- *Düşük-Düşük* frekans alt-bantlı resim (LL).

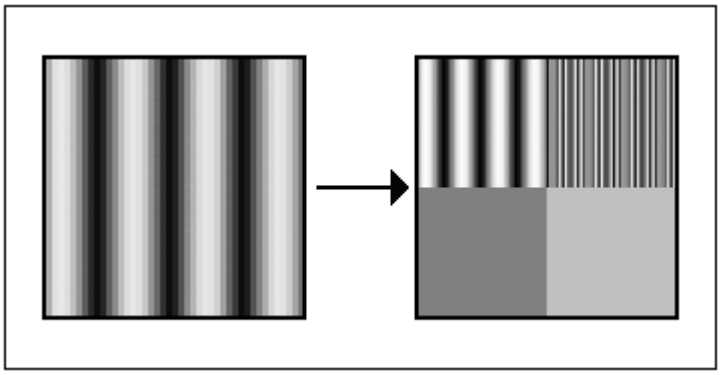
Burada LL frekansı alınır çünkü önemli bilgi alçak frekanslı veride tutulmaktadır. Yüksek frekanslı bölgede görüntüdeki detaylar ve gürültüler bulunmaktadır (Avcı, 2006). Yatay olarak tüm satırlara alçak geçirgenlikli filtre ve yüksek geçirgenlikli filtre sırayla uygulanır. Daha sonra aynı işlem düşey olarak tekrarlanır (Avcı, 2006).



Şekil 4.19.a,b,c) Görüntüye Dalgacık dönüşümünün uygulanması

Dalgacık dönüşümünün işlem adımları Şekil 4.19'te gösterilmiştir. Dalgacık dönüşümü sonucunda toplam görüntünün boyutlarında herhangi bir değişim söz konusu olmaz. Görüntüdeki her satır bir sinyal gibi düşünülürse, bu sinyali oluşturan düşük frekanslı bileşenlerin bir tarafa, yüksek frekanslı bileşenlerin diğer tarafa toplandığı görülmektedir. Görüntü bu iki bileşene ayrılırken, iki pikselde bir alçak ve yüksek geçirgenli filtreye tabi tutulduğu için, sonuç veri dizisi düşük frekanslı veri bileşenleri için dizinin ilk yarısını, yüksek frekanslı veri bileşenleri için ise dizinin diğer yarısını oluşturmaktadır. Şekil 4.19.a.'deki görüntüye düşey olarak dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Şekil 4.19.b.'de ise Şekil 4.19.a.'da elde edilen görüntüye yatay olarak dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Bu iki adımdan oluşan görüntüye birinci seviye dalgacık dönüşümü denir. Şekil 4.19.c.'de ise ikinci seviye dalgacık dönüşümünün sonucu gösterilmiştir. NxN boyutlu bir görüntüye en fazla $N \log_2$ kadar dalgacık dönüşümü uygulanabilir. Örnek olarak boyutu 128x128 piksel olan bir görüntüye en fazla yedi adet dalgacık dönüşümü uygulanabilir (Avcı, 2006).

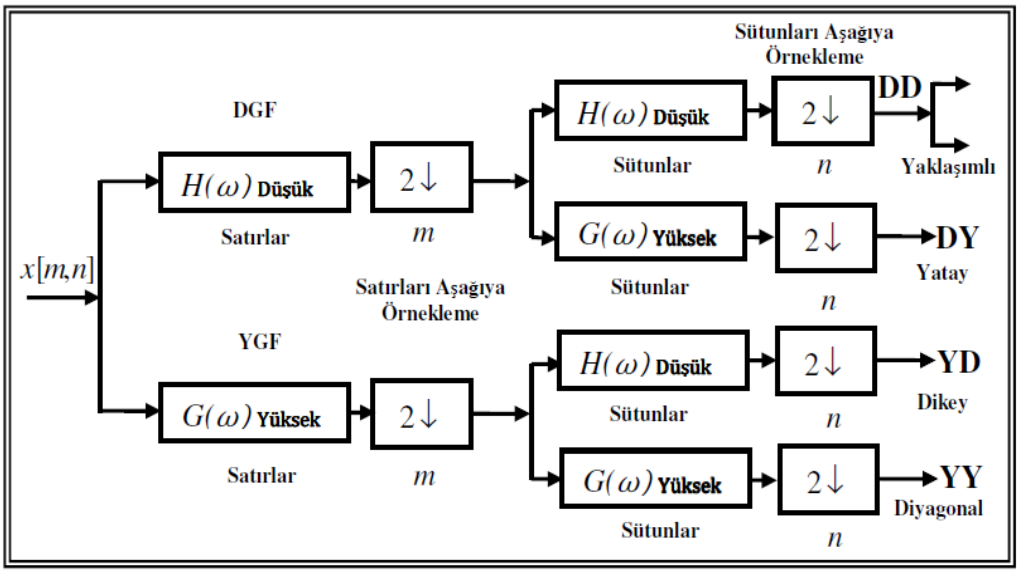
Şekil 4.20.'teki uygulamada sinüs sinyali ele alınmıştır. Bir seviye dönüşüm neticesinde yüksek ve alçak frekansların başarılı bir şekilde ayrılabildiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.19.b.'dakı etiketlendirmeye göre, LL1 kısmında yatay olarak sadece alçak frekansların olduğu, HL1 kısmında ise yatay olarak sadece yüksek frekansların olduğu görülmektedir (Avcı, 2006).



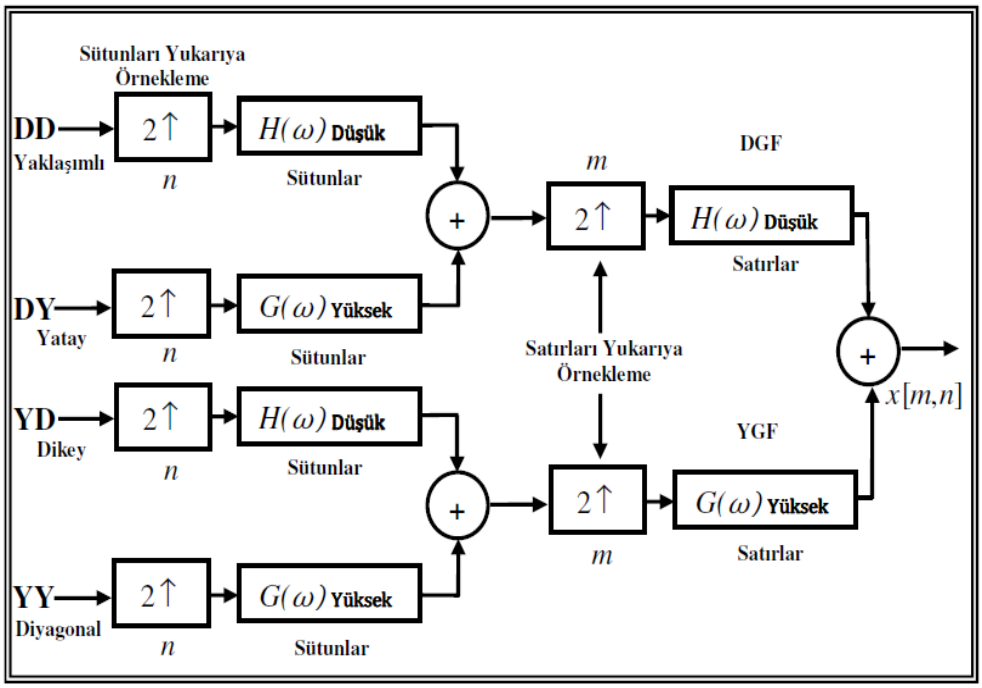
Şekil 4.20. Sinüs sinyaline dalgacık dönüşümünün uygulanması

Görüntülerden de anlaşılacağı gibi özet görüntü düşük frekanslı bölgede taşınmaktadır. Yüksek frekanslı bölgelerde ise daha ziyade gürültüler ve ani değişimler taşınmaktadır. ADD resmin hem uzaysal hem de frekans bilgilerini içerir. Şekil 4.21.'de

ADD birinci aşamasının resim üzerine uygulanması ve onun TADD'si gösterilmektedir (Hamza, 2008).



(a)

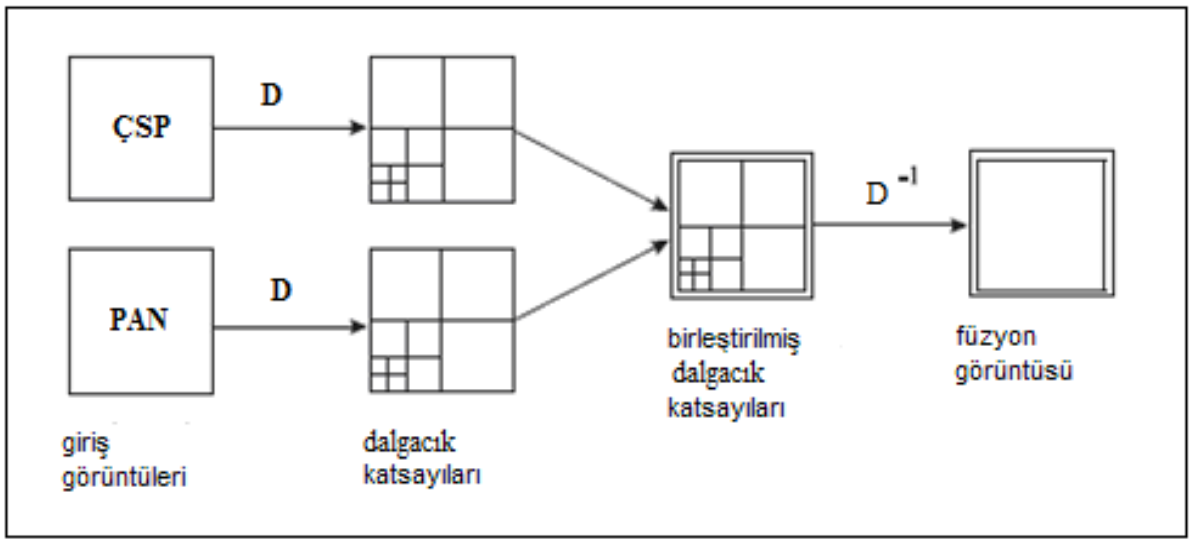


(b)

Şekil 4.21. Resmin üzerine ADD işleminin uygulanması, (a) resmin üzerine ADD ayrıştırma işlemi, (b) resmi geri çatma işlemi.

4.10. Dalgacık Tabanlı Füzyon Sistemi

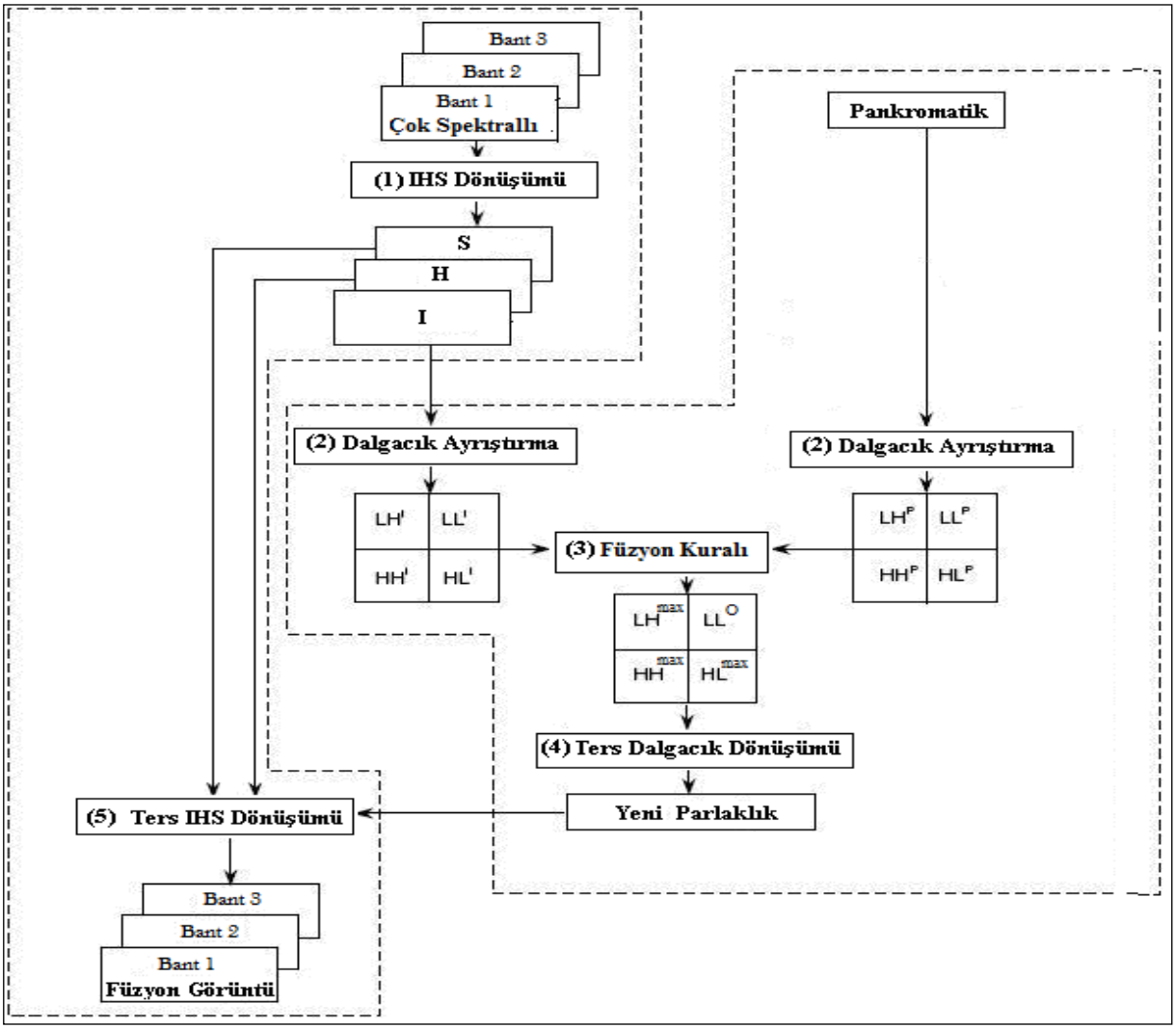
Dalgacık tabanlı görüntü füzyonu giriş görüntülerinin en önemli özelliklerini seçerek ve onları bileşik görüntünün içine transfer ederek birleştirilmiş görüntünün içerisindeki bilgi miktarını arttırır. Özellik seçerken dikkat edilmesi gereken husus, görüntünün hem uzaysal hem spektral bileşenlerinin korunmasıdır (Kaplan, 2008).



Şekil 4.22. Dalgacık tabanlı füzyon sistemi

4.11.Tümleşik Dalgacık -IHS Füzyon Yöntemleri

Literatürde birçok Dalgacık ve IHS tabanlı tümleşik füzyon yöntemleri önerilmiştir. Bu yaklaşımlardan ikisi bu çalışma dâhilinde ele alınmıştır (Vijayaraj, 2004). Bu yöntem dahilinde genel olarak, düşük çözünürlüklü çok spektrallı renk bilgisi ile yüksek çözünürlüklü pankromatik uzaysal detay bilgilerini tümleştirmek üzere IHS dönüşümünü kullanılır. Böylece, renk ve uzaysal özniteliklerin düzgün bir şekilde bütünleştirilmesi sağlanır. Bunun yanı sıra, orijinal pankromatik görüntünün uzaysal detaylarını içeren ve parlaklık görüntüsü ile yüksek ilintiye sahip yeni bir pankromatik görüntü üretmek için dalgacık dönüşümünden yararlanılır. Bu yaklaşıma ait akış diyagramı Şekil 2.23. de verilmiştir (Kaplan, 2008):



Şekil 4.23. Dalgacık ve IHS tabanlı yönteminin akış diyagramı

Şekil 4.23' te gösterildiği gibi, bu tümleşik füzyon yönteminin adımları aşağıda Verilmiştir (Kaplan, 2008):

Adım 1: Çok spektrallı görüntü, IHS bileşenlerine dönüştürülür (ileri IHS dönüşümü).

Adım 2: pankromatik görüntü ile I bileşenini sırasıyla iki seviye dalgacık dümenine ayrıştırılır.

Adım 3: Bu adımda füzyon kuralı uygulanır. Pankromatik ayrıştırmanın yaklaşıklık görüntüsü (LLP), I bileşeninin LLI görüntüsü ile ortalaması alınır. LL bantların ortalamasını almak ve detay bantlarının ise mutlak değerce maksimumunu seçmek en ideal yöntem olarak belirlenmiştir(Pajares and Cruz, 2004, Zhou Civco and Silander

,1998). Tüm yüksek frekans bantları sıfır civarında dalgalanan dönüşüm değerlerini içermektedir. Alçak geçirgen alt banttaki giriş görüntünün yaklaşıklığıdır.

Birleşme yöntemleri yaklaşıklık ve detay altbantlarına uygulanacaktır. Basit ortalama alma işlemleri kullanılarak alçak geçirgenli alt bant birleştirilecektir çünkü kaynak görüntülerinin her iki yaklaşıklığını da içermektedir. Üç detay altbandının dalgacık katsayılarına seçim yöntemi uygulanacaktır. Detay alt bantları için kullanılan seçim kuralı maksimum seçim kuralıdır (karmaşık değerler için maksimum gerçek değeri seçer) (Al-Helali, Ali, Al-Dulaimi, Alzubaydi and Mahmmoud 2009) .

Adım 4: Parlaklık görüntüsü ile benzer gri değer dağılımına sahip yeni bir parlaklık görüntüsü elde etmek için ters dalgacık dönüşümü uygulanır.

Adım 5: Yeni parlaklık (I) bileşenini ton ve doygunluk (H, S) bileşenleri ile tekrar RGB uzayına dönüştürülür (ters IHS dönüşümü).

5.RİDGELET DÖNÜŞÜMÜ

5.1. Ridgelet Dönüşümü İle Görüntü Füzyonun Amacı

Görüntü füzyonun amacı birbirleriyle ortak alanı bulunan iki farklı uydu görüntüsünün bilgisayar yardımı ile birleştirilerek tek bir görüntü haline getirilmesidir. Böylece her iki görüntünün de en iyi özelliklerinden yararlanılabilir. Görüntü birleştirmede, pankromatik görüntüdeki uzaysal detay içeriği ile çok spektrallı görüntülerin spektral özellikleri ve içeriği birleştirilmiş olur (Çelik, 2006).

Füzyon algoritması, güvenilir ve dayanıklı olmasının yanı sıra, gürültü ve yapaylık gibi kusurlara karşı da toleransı mümkün olduğunca yüksek olmalıdır (Piella, 2002).

Bu bölümdeki çalışmanın amacı bantlarda bulunan bilgiden en iyi şekilde faydalanıp, bozulmaları ortadan kaldırmak ve resmin görünümünü iyileştirmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için yeni dönüşüm tekniği kullanılarak görüntü netleştirme ve görüntü füzyonu elde etmektedir. Sonuç görüntüler mümkün olan maksimum uzaysal çözünürlüğe ve iyi korunmuş kaliteli spektral bilgiye sahip olmaktadır.

Bu bölümde; Spot ve Landsat uydu görüntüsünü birleştirilesi için yeni bir teknik olan Ridgelet dönüşümün kullanılmaktadır ve algoritmasının geliştirilmesi yapılmıştır. Bu yöntem diğer yöntemlere göre görüntüdeki spektral bilgilerini en iyi şekilde korumaktadır ve en iyi sonucu verdiğini istatistik olarak değerlendirilmiştir. Ridgelet dönüşüm'ünün ana yapısı üç temel dönüşümden oluşur, bunlar Ayrık Fourier dönüşümü, Radon dönüşümü ve Dalgacık dönüşümü.

Ridgelet dönüşümü bir önceki dönüşümlerin yüksek performansını ilerleten bir dönüşüm olarak da tanıtılmıştır.

5.2.Ridgelet Dönüşümünün Algoritması

Candes ve Donoho (1999) tarafından Ridgelet dönüşümü kavramını dalgacıklar üzerinden sunmuş ve teorik çerçevesini tamamlamışlardır. Ridgelet 2-boyutlu ve daha fazla boyutlu görüntü çözücümü için, bir seri bitişik Ridgelet fonksiyonu (temel elementler) ile sayısal, yapısal ve stabil bir tanımlama sağlayan yeni bir araçtır (Henglei, Shuang, and Tianyou , 2007).

Standart bir 2-boyutlu dalgacık tabanı kenarları etkili bir şekilde gösteremez. Bu durum Ridgelet dönüşümünün geliştirilmesi bir motivasyon sağladı (Henglei, Shuang, and Tianyou , 2007).

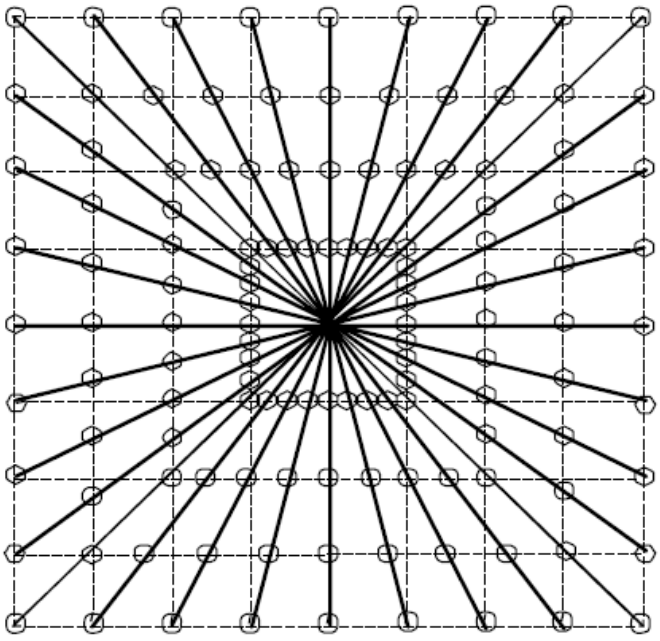
Sürekli Ridgelet dönüşümü sabit hatlar ve radyal yönlerden ortaya çıkan bir 1-boyutlu dalgacık fonksiyonu ile tanımlanabilir (Semler and Dettori, 2007).

$$CRT_f(a,b,\theta) = \int_{R^2} \psi_{a,b,\theta}(x)\, f(x) dx \tag{5.1}$$

Eşit 5.1'te 2-boyutlu ridgelets Ψa, b, θ (x) bir dalgacık fonksiyonu olarak ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\psi_{a,b,\theta}(x) = a^{-\frac{1}{2}} \psi(x_1 \cos\theta + x_2 \sin\theta - b)/a) \tag{5.2}$$

Ridgelet radyal çizgileri bir açı θ ve bir kese *b* ile tanımlanır. Sürekli Ridgelet dönüşümü sürekli dalgacık dönüşümüne benzer, sadece nokta parametreleri (x,y) yerine çizgi parametreleri *(b,* θ*)* kullanılır. Başka anlamda, Dalgacıklar nokta tekillikleri ile objeleri temsil ederken, Ridgelet çizgi tekillikleri ile objeleri temsil edebilmektedir (Semler and Dettori, 2007).

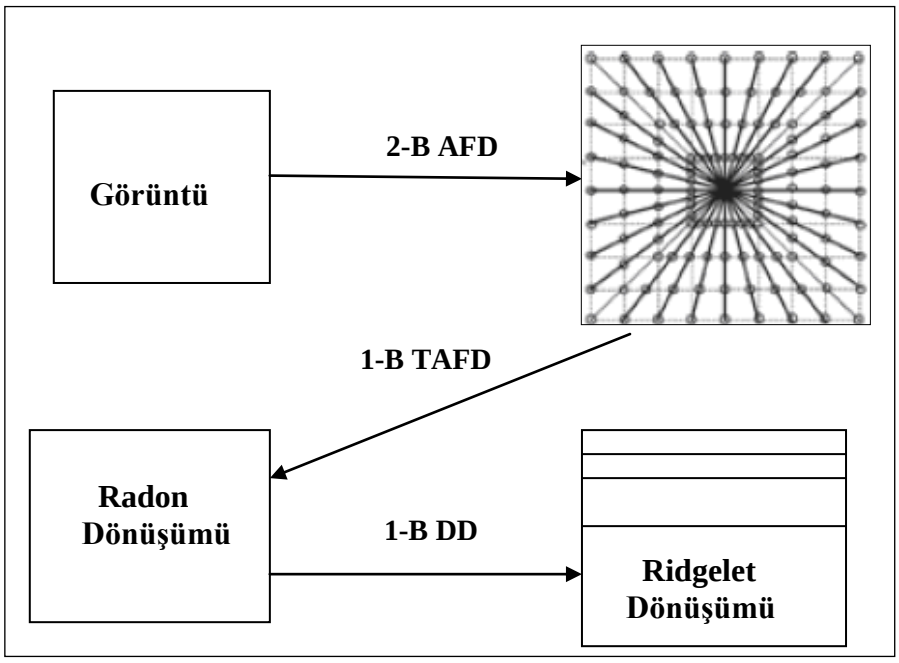


Şekil 5.1. ridgelet dönüşümünde radyal ızgara

Görüntü işleme uygulamalarında kenarlarındaki tekillikleri belirlemek önemlidir. Ridgelet çizgiler arasında 1-boyutlu dalgacıkları dizmek için bir yöntem olarak düşünülebilir. Bunun sonucunda çizgileri arasında tekillikler olan objelerin çok etkili bir sunumuna ulaşılır. İki boyutlu da, noktalar ve çizgiler Radon dönüşümü ile ilişkilendirilir, bu yüzden dalgacık ve Ridgelet dönüşümleri Radon dönüşümü ile birbirlerine bağlanırlar. Ridgelet dönüşümü 1-boyutlu dalgacık dönüşümlerini Radon dönüşümünün dilimlerine (asporjection olarak da bilinirler) dönüştürme işlemidir (Joshi, Manthalkar and Joshi, 2008).

5.3.Sonlu Ridgelet Dönüşümü

Bu önce Sonlu bir radon dönüşümü hesaplayıp, sonra tek boyutlu bir dalgacık dönüşümü uygulanarak hesaplanır. Radon dönüşümü önce görüntünün 2-boyutlu Ayrık Fourier dönüşümünü (AFD) hesaplayıp, sonra radon dönüşümünün 32 radyal yönüne 1-boyutlu ters Fourier dönüşümü uygulayarak hesaplanır. 1-boyutlu Haar dalgacığını radyal yönlerin her birine uygulayıp, iki seviyeli çözünürlük elde edilir. Ridgelet dönüşümü nasıl hesaplandığını aşağıdaki diyagramda göstermektedir (Semler and Dettori, 2007):



Şekil 5.2.Ridgelet dönüşümün akış şeması

Sonlu Radon dönüşümü (SRD) belli bir çizgi setinde görüntü piksellerinin toplamı olarak tanımlanır. Bu çizgiler Öklid geometrisinde Sürekli Radon dönüşümünün çizgilerine benzer şekilde sınırlı bir geometride tanımlanırlar. İfade Zp = [0,1, ..., P-1], p bir asal sayıdır, Sonlu ızgarada (Zp ^ 2) gerçek fonksiyon f olarak tanımlanan, Bir f[i,j] bloğunun Sonlu Radon dönüşümünü aşağıdaki denklem ile tanımlanır (Minh, 2003):

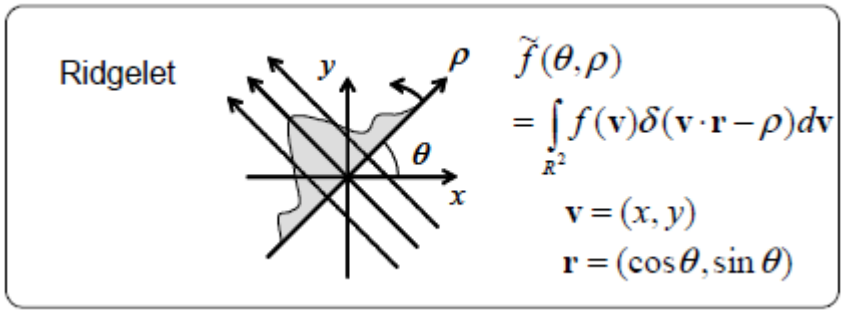
$$SRD_f(k,l) = \frac{1}{\sqrt{p}}\left(\sum_{(i,j)\in L_{k,l}} f[i,j]\right) \tag{5.3}$$

$$L_{k,l} = \begin{cases} \{(i,j) : j = (ki + l)(\mathrm{mod}\ p)\} & 0 \le k < p \\ (l,j) & k = p \end{cases} \tag{5.4}$$

Burada L f[i,j] bloğundaki bir çizgiyi oluşturan nokta topluluğunu, p f[i,j] bloğunun boyutunu gösterir ve asal bir sayı olmalıdır.

Sonlu Radon dönüşümü (FRAT) fazlalıklıdır ve ortogonal değildir, bu fazlalık Sonlu Radon dönüşüm'ünün projeksiyonları üzerine 1-boyutlu dalgacık dönüşümü uygulayarak ortadan kaldırılabilir, böylece ortonormal bir dönüşüm elde edebiliriz (Yu and Lun, 2010).

Şekil 5.3'te Ridgelet geometrisini göstermektedir. (x,y) koordinatları Radon dönüşümü sayesinde (θ,ρ) koordinatlarına yansıtılmıştır. Sonrasında 1-boyutlu dalgacık dönüşümü, Radon dönüşümünün dilimlerine (projeksiyonlarına) uygulanır.



Şekil 5.3. Ridgelets çizimi

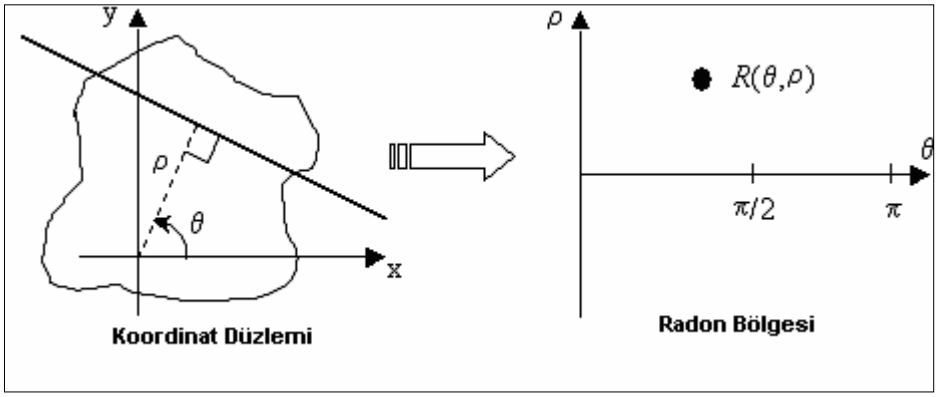
5.3.1.Radon Dönüşümü

Radon dönüşümü; iki boyutlu resmin özelliklerinin belirlenmesini sağlayan bir dönüşümdür. Görüntüdeki çizgileri, radon bölgesindeki noktalara dönüştürür (Çamaşırcıoğlu, 2007).

"Radon dönüşümü", resimdeki en belirgin çizgiyi düzlemle paralel hale getirecek şekilde çalışır. Görüntüyü içeren matrisin, belirli yöndeki izdüşümünü hesaplar. İki boyutlu A(x,y) fonksiyonunun izdüşümü, bu fonksiyonun belirli bir yöndeki çizgi entegralidir. İz düşümleri, belirlenen herhangi bir θ açısı kullanılarak hesaplanabilir dönüştürür. A(x,y) fonksiyonunun "Radon dönüşümü", y' eksenine paralel bir çizgi entegralidir dönüştürür (Çamaşırcıoğlu, 2007).Verilen bir A(x,y) fonksiyonu için, radon dönüşümü:

$$R(\theta,\rho)=\int_{-\infty}^{\infty} A(\rho\cos\theta - s\sin, \rho\sin\theta + s\cos\theta)ds \qquad (5.5)$$

Yukarıdaki eşitlik "s" doğrusu boyunca resmin entegralini hesaplar. Formülde: ρ , çizginin orijine olan uzaklığı, θ çizginin yatayla arasındaki açıdır.



Şekil 5.4. Koordinat düzleminden, Radon bölgesine geçiş

Görüntülerde her bir nokta için $R(\theta,\rho)$ ışın toplamı olarak adlandırılır. Sonuçta çıkan grafiğe ise "shadowgram" adı verilir. Görüntü geri yansıtma yöntemi ile ışın toplamlarından, resmin ilk haline geri dönüş aşağıdaki matematiksel ifade ile mümkündür (Çamaşırcıoğlu, 2007) :

$$B(x,y)=\int_0^{\pi} R(\theta, xcos\theta + y\sin\theta)d\theta \tag{5.6}$$

İki boyutlu ara değerlemeden (interpolasyon) kaçınmak ve ara değerleme sırasında oluşacak hataları en aza indirmek için radon dönüşümü θ açısı kadar döndürülerek, "s" doğrusu boyunca ara değerleme yapılır (Çamaşırcıoğlu, 2007).

A(m,n) | [m=0...M-1, n=0...N-1] resmi için en yakın komşulukların ara değerlemesi:

$$R(\theta,\rho)=\begin{cases}\dfrac{\Delta x}{[\sin\theta]}\sum_m (1-w)A(m,[am+b])+wA(am+b]+1) & [\sin(\theta)]>\dfrac{\sqrt{2}}{2}\\ \dfrac{\Delta y}{[\cos\theta]}\sum_m (1-w)A([a'n+b'],n)+wA(a'm+b']+1,n) & [\sin(\theta)]>\dfrac{\sqrt{2}}{2}\end{cases} \tag{5.7}$$

Parantezin içinde yer alan değerler, en yakın tam sayıya yuvarlanmıştır. Düzeltme için verilen değerler (offset) ve eğim değerleri aşağıda yer almaktadır (Çamaşırcıoğlu, 2007).

$$a=\frac{\Delta x}{\Delta y}\frac{\cos\theta}{\sin\theta} \qquad b=\frac{\rho - x_{\min}\cos\theta - y_{\min}\sin\theta}{\Delta y\sin\theta} \tag{5.8}$$

$$a^1=\frac{1}{a} \qquad b^1=\frac{\rho - x_{\min}\cos\theta - y_{\min}\sin\theta}{\Delta x\cos\theta} \tag{5.9}$$

Lineer ara değerleme için dönüşüm formülü ise şu şekildedir:

$$R(\theta,\rho)=\begin{cases}\dfrac{\Delta x}{[\sin\theta]}\sum_m (1-w)A(m,[am+b])+wA(am+b]+1) & [\sin(\theta)]>\dfrac{\sqrt{2}}{2}\\ \dfrac{\Delta y}{[\cos\theta]}\sum_m (1-w)A([a'n+b'],n)+wA(a'm+b']+1,n) & [\sin(\theta)]>\dfrac{\sqrt{2}}{2}\end{cases} \tag{5.10}$$

5.3.2.Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD)

Fourier dönüşümü, bir sinyal veya görüntüyü frekans bileşenlerine ayrıştırırarak frekans bölgesine taşır. Frekans bileşenleri, sinyali, periyodik sinüzoidal fonksiyonlar

ile ifade eder. Sinyalin periyodik olduğu varsayımı ile denklemler belirli bir aralık (pencere) içinde hesaplanır. İşaretin sabit bir pencere içerisinde tanımlanması durumunda, tek boyuttaki sinyaller ve görüntü sinyalleri için Fourier dönüşümünün ayrık dümen matematiksel ifadeleri aşağıdaki gibi elde edilir (Günlü, 2010).

$$X[k]=\sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j2\pi nk/N} \qquad k=0,1,\ldots\ldots\ldots,N-1 \tag{5.11}$$

İşaret, ters AFD (TAFD) yardımıyla yeniden elde edilebilir (sentez).

$$x[n]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X[k]e^{j2\pi nk/N} \qquad n=0,1,\ldots\ldots\ldots,N-1 \tag{5.12}$$

Burada k, sırası gelen frekans elemanını, N örnek sayısını, i karekök(-1) değerini, [x] örneklenmiş sinyal verisini, n işlenmeyi bekleyen sıradaki örneği temsil eder.

AFD, bir sinyal veya görüntüyü frekans bileşenlerine ayrıştırılarak frekans bölgesine taşır. Frekans bileşenleri, sinyali, periyodik sinüzoidal fonksiyonlar ile ifade eder. Gerçek ve sanal olmak üzere iki kısımdan oluşur. Fourier öznitelikleri iki farklı şekilde alınabilir; gerçek ve sanal, genlik ve faz. Bu dönüşümü öznitelik çıkartma amacıyla kullanılabilmektedir.

Sayısal görüntülerin gösterimi uzaysal alanın gösteriminde kullanılan x ve y koordinatlarından oluşmaktadır. Bu görüntü Fourier dönüşümünden geçtikten sonra frekans alanında temsil edilmiş olur (Uğurlu, 2006).

Dönüşüm sonucundaki gösterimde, görüntüdeki yüksek frekanslar kenarlarda, alçak frekanslar ise orta kısımlarda toplanır. Uzaysal ortamda yatay olan çizgiler dikey; dikey olan çizgiler ise yatay olarak görüntülenir. İstenirse görüntü işleme programındaki fonksiyonlar kullanılarak tekrar uzaysal ortama geçiş sağlanabilir (Uğurlu, 2006).

Alçak geçirgen filtreleme işleminde, filtre fonksiyonu şeklin merkezinde toplanan frekansların geçişine izin verirken, kenarlarda toplanan yüksek frekansların geçişine izin vermeyip süzmektedir. Böylece yersel ortamda piksellerdeki ani geçişler ortadan kalkar ve görüntü yumuşar, bulanıklaşır (Uğurlu, 2006).

Yüksek geçirgen filtreleme işlemi de bu işlemin tam tersi bir yaklaşımla şeklin merkezindeki frekansları süzerken kenarlardaki yüksek frekansların geçişine izin vermektedir. Yersel x,y koordinatlarına geri dönüldüğünde keskin hatların daha da güçlenmesi ve belirgin bir şekilde görülmesi sağlanır (Uğurlu, 2006).

5.4. Ridgelet Dönüşümün Geliştirilmesi

Bu gelişmenin ana fikri Ridgelet dönüşümün algoritmasının yapısındaki dalgacık dönüşümün yerine Ayrık Kosinüs dönüşümü (AKD) yerleştirilerek elde edilen yöntemdir.

AKD bir uzaysal görüntünün örnekleme matrisini ortogonal frekansın örnekleme matrisine dönüştürür.

Bu yeni yöntemi kullanarak elde edilen görüntü füzyonunun en iyi sonucu verdiği istatistik değerlendirmeler yolu ile ispat edilmiştir. Böylece bu yeni geliştirilen dönüşüm yüksek performans ve güçlü özelliklere sahip olan görüntü füzyonu için yeni bir yöntem sağlamaktadır.

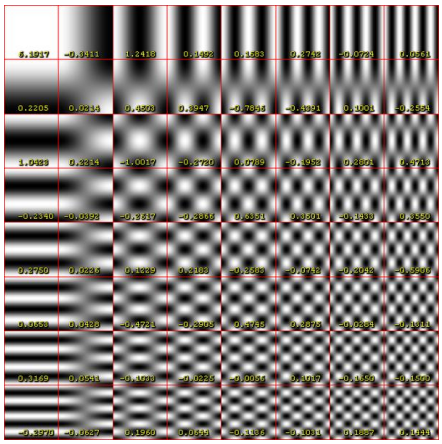
5.4.1.Ayrık Kosinüs Dönüşümü(AKD)

Görüntüler için en yaygın kullanıma sahip dönüşüm yapısı, blok bazlı AKD yöntemidir. Dönüşüm fonksiyonu olarak ayrık kosinüs dönüşümünün kullanılmasının olası sebeplerinden biri iyi enerji odaklamasıdır. Başka bir sebep de uygulamasının kolay olması ve katsayılarının tam sayılar olmasıdır (Rajabli, 2005).

Kosinüs dönüşümünde en belirgin özellik, sinyale ait enerjinin büyük bir bölümünün ilk katsayılara yığılma göstermesidir. Bu sayede sinyal, ilk birkaç katsayıyla (yani daha az parametre ile) temsil edilebilmektedir. Kosinüs dönüşümü, enerji yoğunlaştırma özeliğinden dolayı görüntü ve sinyal sıkıştırma konusunda sıkça kullanılmaktadır (Kurnaz, 2006).

Simetri ve dönüşüm dikliğine sahiptir. Örtüşen ve bağımsız olmayan Gabor fonksiyonlarının tersine, AKD taban fonksiyonları bağımsızdır (Günlü, 2010).

AKD, görüntüler için 2-boyutlu AKD kullanılır. AKD katsayılarını farklı bant bölgelerine ayırmış ve her bant bölgesinin ayırt ediciliğini hesaplayarak, en ayırt edici bölgeleri tanıma için kullanmıştır (Günlü, 2010).



Şekil 5.5. Blok bazı AKD

8x8 boyutundaki görüntü parçası bire bir dönüşüm kullanılarak frekans ortamına dönüştürür. AKD frekans bileşenlerini yüksek frekans bileşenleri matrisin alt sağında ve alçak frekans bileşenleri üst solunda kalacak şekilde ayrıştırır (Sol-üst köşede bulunan katsayılar enerjinin çok büyük bir kısmını tutar) (Rajabli, 2005). İki boyutlu AKD'nin taban vektörleri aşağıdaki gibi verilir.

$$F(u,v) = \frac{4c(u,v)}{N^2} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n) \cos\frac{(2m+1)u\pi}{2N} \cos\frac{(2n+1)v\pi}{2N} \qquad \text{u, v} = 0,1,\ldots, \text{N}-1 \tag{5.13}$$

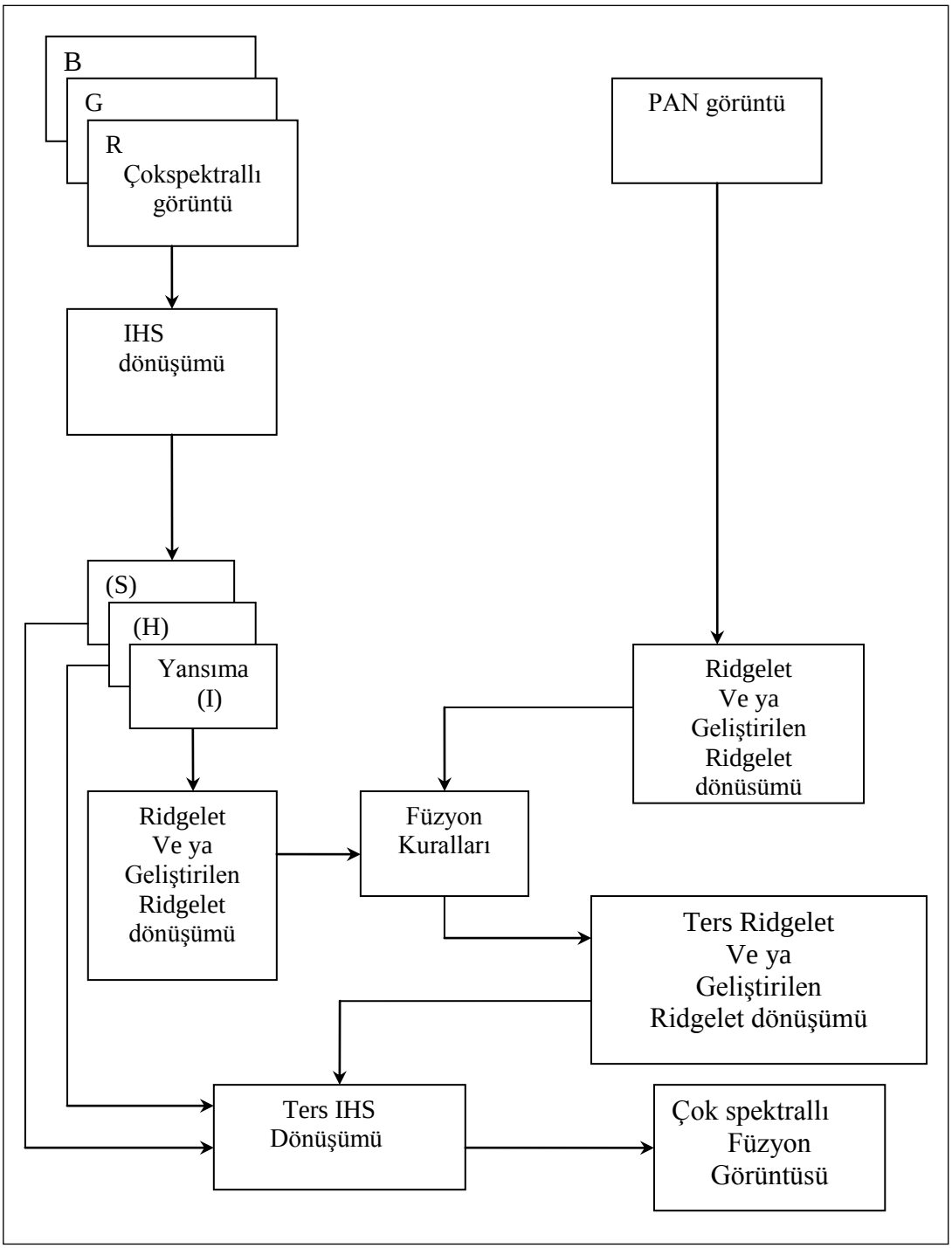
$$c(u,v) = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{u} = \text{v} = 0 \\ 1 & \text{u, v} = 1,2,\ldots\ldots, \text{N}-1 \end{cases} \tag{5.14}$$

İki boyutlu ters Ayrık Kosinüs Dönüşümü de aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$f(m,n) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} F(u,v)c(u,v) \cos\frac{(2m+1)u\pi}{2N} \cos\frac{(2n+1)v\pi}{2N} \qquad \text{m, n} = 0,1,\ldots,\text{N}-1 \tag{5.15}$$

Görüntü füzyonu uygulamasında AKD tıpkı bir dalgacık dönüşümünde olduğu gibi, görüntüyü alçak (LP) ve yüksek (HP) geçiren altbantlarına ayırabilmek ve bu altbantlardan geriye dönebilmek gerekir.

5.5.Ridgelet Ve Geliştirilen Ridgelet Dönüşümün Füzyon Yönteminin Akış Şeması



Şekil 5.6. Ridgelet ve geliştiren Ridgelet dönüşümünün iki görüntü üzerinde uygulanmasının akış diyagramı

Şekil 5.6’ da gösterildiği gibi, Ridgelet ve geliştiren Ridgelet dönüşümünün iki görüntü üzerinde uygulanmasının adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1) Yeniden boyutlandırma: İki görüntü aynı boyutta olmalıdır.

Adım 2) Çok spektrallı görüntü, IHS bileşenlerine dönüştürülür (ileri IHS dönüşümü).

Adım 3) İki görüntüye 2-boyutlu Ridgelet veya Geliştirtmiş Ridgelet dönüşümü hesaplanması uygulanır: Bu adımda Ridgelet dönüşüm yeniden boyutlandırılmış iki boyutlu görüntü üzerinde uygulanmalıdır (Pankromatik ve RGB görüntüsünün parlaklık (I) Bileşeni).

Adım 4) Füzyon kuralı uygulanması: Bu yöntem tek 1-boyutlu dalgacık dönüşümünü kullandığı için, (L & H) olan dört banttansa iki banda sahip olacaktır, ancak füzyon yöntemindeki L için ortalama alınır ve H için maksimum seçimde aynı işlemi kullanılacaktır (Al-Helali, Ali, Al-Dulaimi, Alzubaydi, Mahmmoud, 2009).

Adım5) Ters Ridgelet veya Geliştrilmiş Ridgelet dönüşümü: Ters Ridgelet dönüşümü ile çok spektrallı görüntünün yeni parlaklık (I) bileşeni elde etmek için seçim katsayıları yeniden oluşturulur.

Adım 6) Yeni parlaklık (I) bileşenini ton ve doygunluk (H, S) bileşenleri ile tekrar RGB uzayına dönüştürülür (Ters IHS dönüşümü) sonuç olarak yüksek çözünürlüklü çok spektrallı yeni görüntü elde edilir.

6.GÖRÜNTÜ DEĞERLENDİRİLMESİ VE FÜZYON UYGULAMA YAZILIMI

6.1.Görüntülerin Değerlendirilmesi(Kalite Analizi)

Füzyon sonuçların kalitesi görsel ve istatistiksel olarak değerlendirebilinir görüntüler karşılaştırılarak analiz edilir. Sonuç görüntünün analizi için görsel karşılaştırma kolay ve etkili bir yöntemdir. Bu karşılaştırma işleminin objektif olarak yapılması çok zordur. Görüntü kalitesi gözlemciye ve analiz yapan kişiye bağlıdır. Bu yüzden elde edilen sonuçların yorumları kişiden kişiye değişiklik göstermektedir (Bektaş Balçık, Göksel, 2009).

İstatistik olarak karşılaştırma işlemleri korelasyon katsayılarının hesaplanması ve görüntülere ait histogram değerlerinin (ortalama ve standart sapma) orijinal görüntü değerleri ile karşılaştırmaktadır. Korelasyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, ilişki varsa yönünü ve gücünü inceleyen yöntem olarak tanımlanmaktadır. Görüntü birleştirme uygulamasında hesaplanan korelasyon katsayıları ile spektral özelliklerin simülasyon doğruluğu tespit edilmektedir. Korelasyon katsayıları +1 ile -1 aralığında değerlere sahiptir ve +1 olarak bulunan korelasyon katsayısı her iki görüntü arasında yüksek ilişkiyi ortaya koymaktadır (birbirlerine çok yakın olduklarını sinyal eder) ; -1'e yakın olması halinde ise ters orantı bulunmaktadır (Bektaş Balçık, Göksel, 2009).

Farklı füzyon yöntemleri kullanılarak sonuç görüntülerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden olan görsel yorumlamada kullanıcının önceki deneyimleri oldukça önemliyken, istatistiksel yaklaşımlarda var olan veri setinin karakteristik özellikleri oldukça önemlidir. Görüntü füzyonu yöntemlerinde kullanılan çok spektrallı ve pankromatik (siyah-beyaz) uydu görüntülerinin uzaysal ayrım güçleri arasındaki oranı hesaplamaktadır (Uğurlu, 2006).

Bantları arasındaki korelasyon değerlerine yakın olması, füzyon işleminde kullanılan yöntemin başarılı olduğunu göstermektedir. Bunu sağlayan, sonuç görüntülerin spektral karakteristiğinin, orijinal görüntüye en fazla şekilde benzer olduğudur. Korelasyon katsayısı :

$$Corr(A/B) = \frac{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(A_{ij} - A_{ort})(B_{ij} - B_{ort})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(A_{ij} - A_{ort})^2 \sum_{N=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(B_{ij} - B_{ort})^2}} \qquad (6.1)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada A ve B aralarında korelasyonun hesaplandığı iki görüntüdür. Füzyon işleminden önce ve sonra çok spektrallı görüntünün her bir bandı arasında korelasyon hesaplanır. En iyi spektral bilgi çok spektrallı görüntüde mevcut olduğundan füzyon edilmiş görüntünün bantları çok spektrallı görüntünün bantları ile yakın bir korelasyona sahip olmalıdır. Korelasyon değerleri birbirine yakın ise füzyon sonucunun elde edilen görüntüsü spektral kalitesi yüksektir. Diğer korelasyon katsayıları takımı ise çok spektrallı görüntünün her bir bandı ile pankromatik görüntü arasında hesaplanır. Pankromatik görüntü daha iyi uzaysal bilgiye sahip olduğu için füzyon sonucu elde edilen görüntünün bantları ile PAN görüntü arasındaki korelasyonun orijinal çok spektrallı bant için elde edilen değerden daha yüksek olması beklenir. Korelasyon değerindeki bir artış çok spektrallı görüntü ile karşılaştırıldığında uzaysal bilgideki bir artışın belirtisidir (Kaplan, 2008).

Korelasyon değerleri çizelge 6.1 ve 6.2 de füzyon yöntemlerini kullanarak elde edilen görüntü sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. MATLAB ortamında yapılan ".m" uzantılı dosyaların yazılımı ile çalıştırılması sonucunda elde edilen sonuçlara göre:

Çizelge 6.1. Orijinal ve sonuç görüntülerin bantları arasındaki korelasyon değerleri

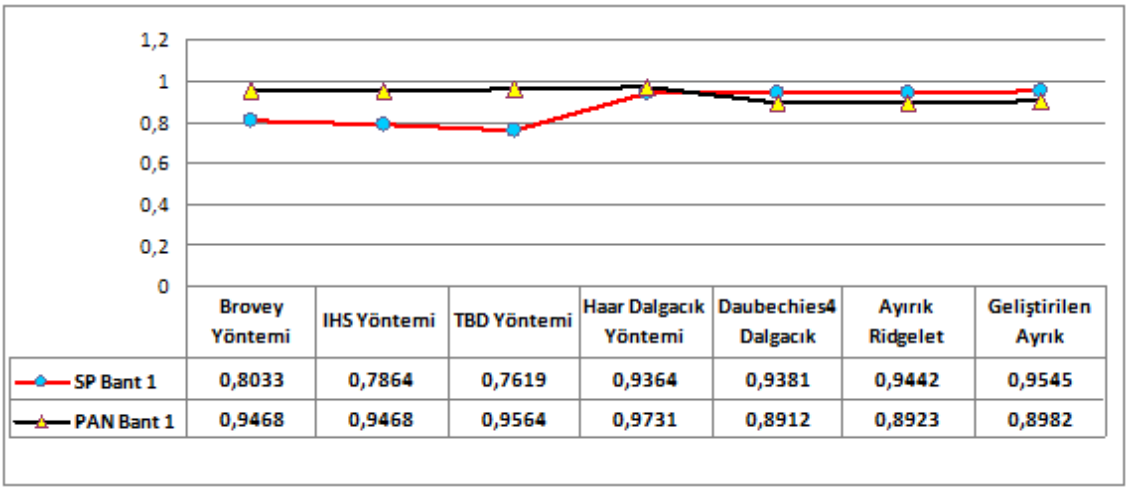
Füzyon Yöntemleri	**Spektral BANT1& Füzyon BANT1**	**Spektral BANT2& Füzyon BANT2**	**Spektral BANT3& Füzyon BANT3**
Orijinal Lansat görüntüsü	1	1	1
Brovey Yöntemi	**0.8033**	**0.7355**	**0.7676**
IHS Yöntemi	**0.7864**	**0.7713**	**0.7704**
TBD Yöntemi	**0.7619**	**0.7144**	**0.7612**
HaarDalgacık Yöntemi	**0.9364**	**0.9339**	**0.9355**
Daubechies4 Dalgacık Yöntemi	**0.9381**	**0.9358**	**0.9376**
Ayırık Ridgelet Yöntemi	**0.9442**	**0.9424**	**0.9451**
Geliştirilen Ayrık Ridgelet Yöntemi	**0.9545**	**0.9534**	**0.9573**

Yukarıdaki Çizelge 6.1 elde edilen füzyon sonucu, görüntünün bantları arasında hesaplanan korelasyon değerlerinin aynı zamanda çoklu çözünürlüklü bantlar arasında hesaplanan değerler ile yüksek olması gerekir. Çok spektrallı görüntünün korelâsyonlarına en yakın elde edilen füzyon sonuçları Dalgacık Yöntemi, Ayrık Ridgelet Yöntemi ayrıca spektral kalitesinin bu yöntemler için yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.2. Orijinal ve sonuç görüntülerin bantları arasındaki korelasyon değerleri

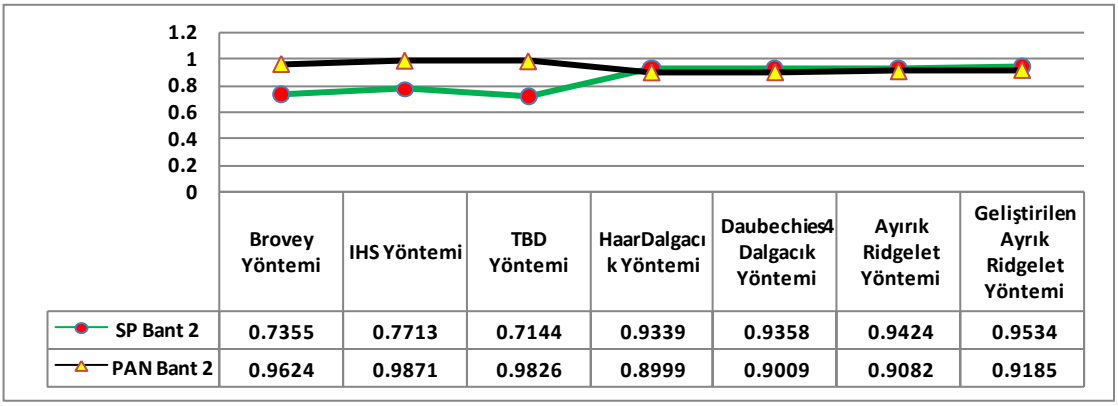
Füzyon Yöntemleri	**PAN BANT1& Füzyon BANT1**	**PAN BANT2& Füzyon BANT2**	**PAN BANT3& Füzyon BANT3**
Orjinal spot görüntüsü	**0.7762**	**0.7740**	**0.6818**
Brovey Yöntemi	**0.9468**	**0.9624**	**0.9334**
IHS Yöntemi	**0.9564**	**0.9871**	**0.9520**
TBD Yöntemi	**0.9731**	**0.9826**	**0.9894**
Haar Dalgacık Yöntemi	**0.8912**	**0.8999**	**0.8272**
Daubechies4 Dalgacık Yöntemi	**0.8923**	**0.9009**	**0.8284**
Ayırık Ridgelet Yöntemi	**0.8982**	**0.9082**	**0.8353**
Geliştirilen Ayrık Ridgelet Yöntemi	**0.9078**	**0.9185**	**0.8459**

Yukarıdaki Çizelge 6.2 incelendiğinde füzyon sonucu görüntünün bantları ile pankromatik görüntü arasındaki korelasyon değerlerinin çok spektrallı görüntünü için hesaplanan değerlerine yakın olmasını beklenir. Eğer bu değer daha yüksek (1) sonuç veriyorsa bu durumda uzaysal detayları baskın olacaktır ve çok spektrallı görüntünün orijinal renklerinin spektral değerlerini bozulmasına neden olur. Yukarıdaki çizelgede elde edilen sonuçlar şekil 6.2’ deki görünütü sonuçlarında olan Spot (5 metre) ve Landsat (30 metre) görüntüsü kullanılmıştır.



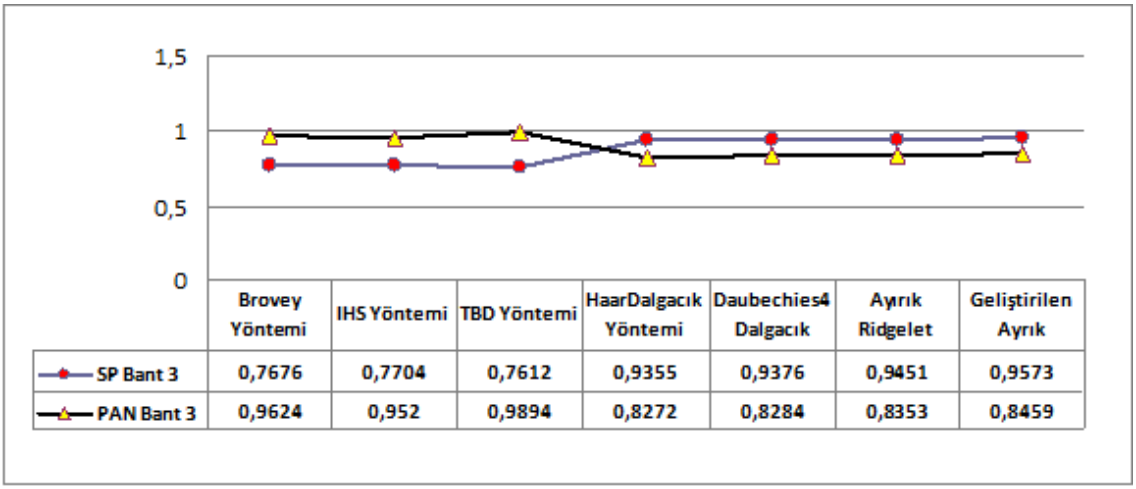
	Brovey Yöntemi	IHS Yöntemi	TBD Yöntemi	Haar Dalgacık Yöntemi	Daubechies4 Dalgacık	Ayırık Ridgelet	Geliştirilen Ayrık
SP Bant 1	0,8033	0,7864	0,7619	0,9364	0,9381	0,9442	0,9545
PAN Bant 1	0,9468	0,9468	0,9564	0,9731	0,8912	0,8923	0,8982

(a)



	Brovey Yöntemi	IHS Yöntemi	TBD Yöntemi	HaarDalgacık Yöntemi	Daubechies4 Dalgacık Yöntemi	Ayırık Ridgelet Yöntemi	Geliştirilen Ayrık Ridgelet Yöntemi
SP Bant 2	0.7355	0.7713	0.7144	0.9339	0.9358	0.9424	0.9534
PAN Bant 2	0.9624	0.9871	0.9826	0.8999	0.9009	0.9082	0.9185

(b)



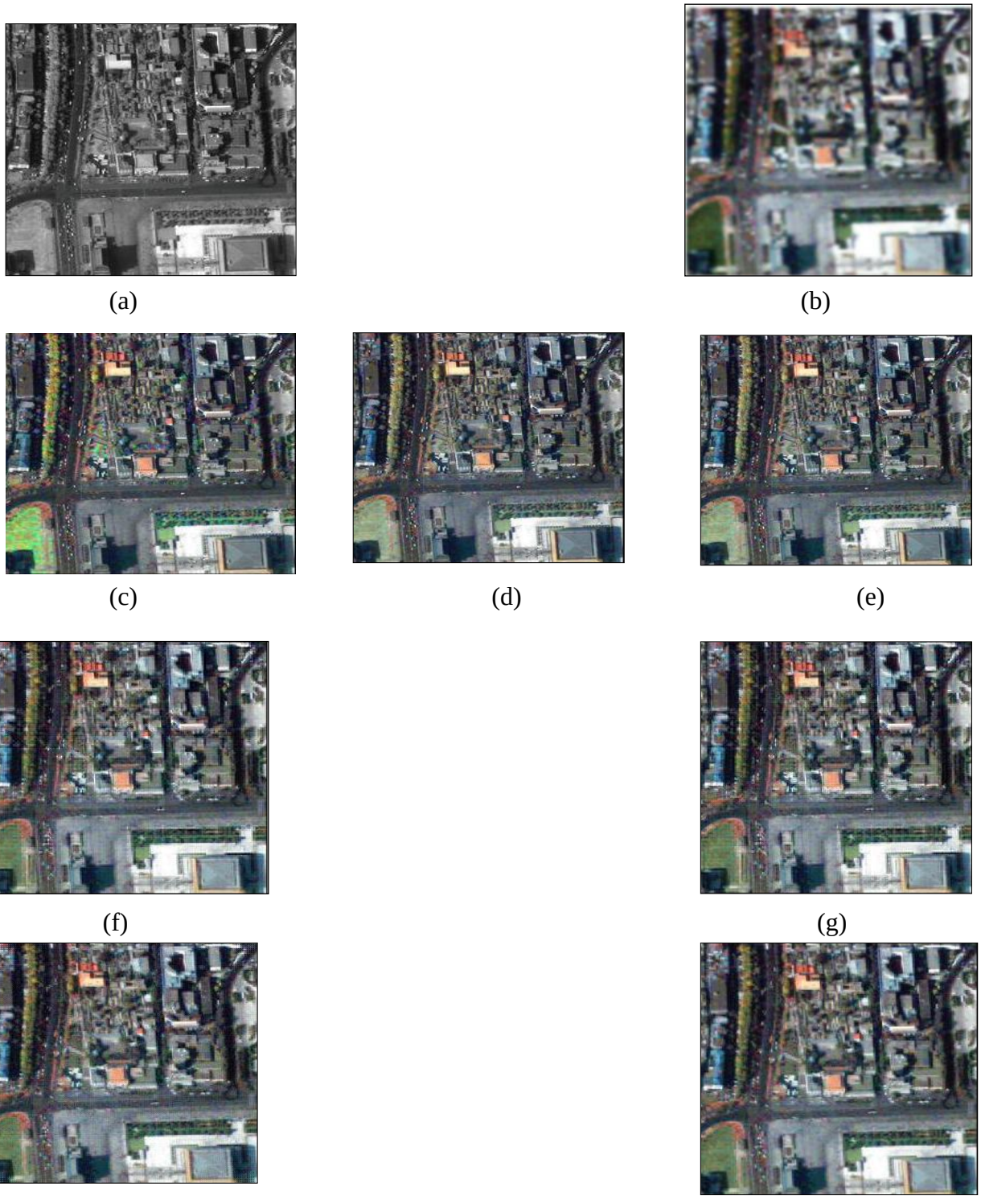
	Brovey Yöntemi	IHS Yöntemi	TBD Yöntemi	HaarDalgacık Yöntemi	Daubechies4 Dalgacık	Ayırık Ridgelet	Geliştirilen Ayrık
SP Bant 3	0,7676	0,7704	0,7612	0,9355	0,9376	0,9451	0,9573
PAN Bant 3	0,9624	0,952	0,9894	0,8272	0,8284	0,8353	0,8459

(c)

Şekil 6.1.a,b,c) Grafiklerde füzyon yöntemlerini kullanarak elde edilen yeni görüntünün bantları arasındaki korelasyon değerleri.

6.2.Görüntü Sonuçları

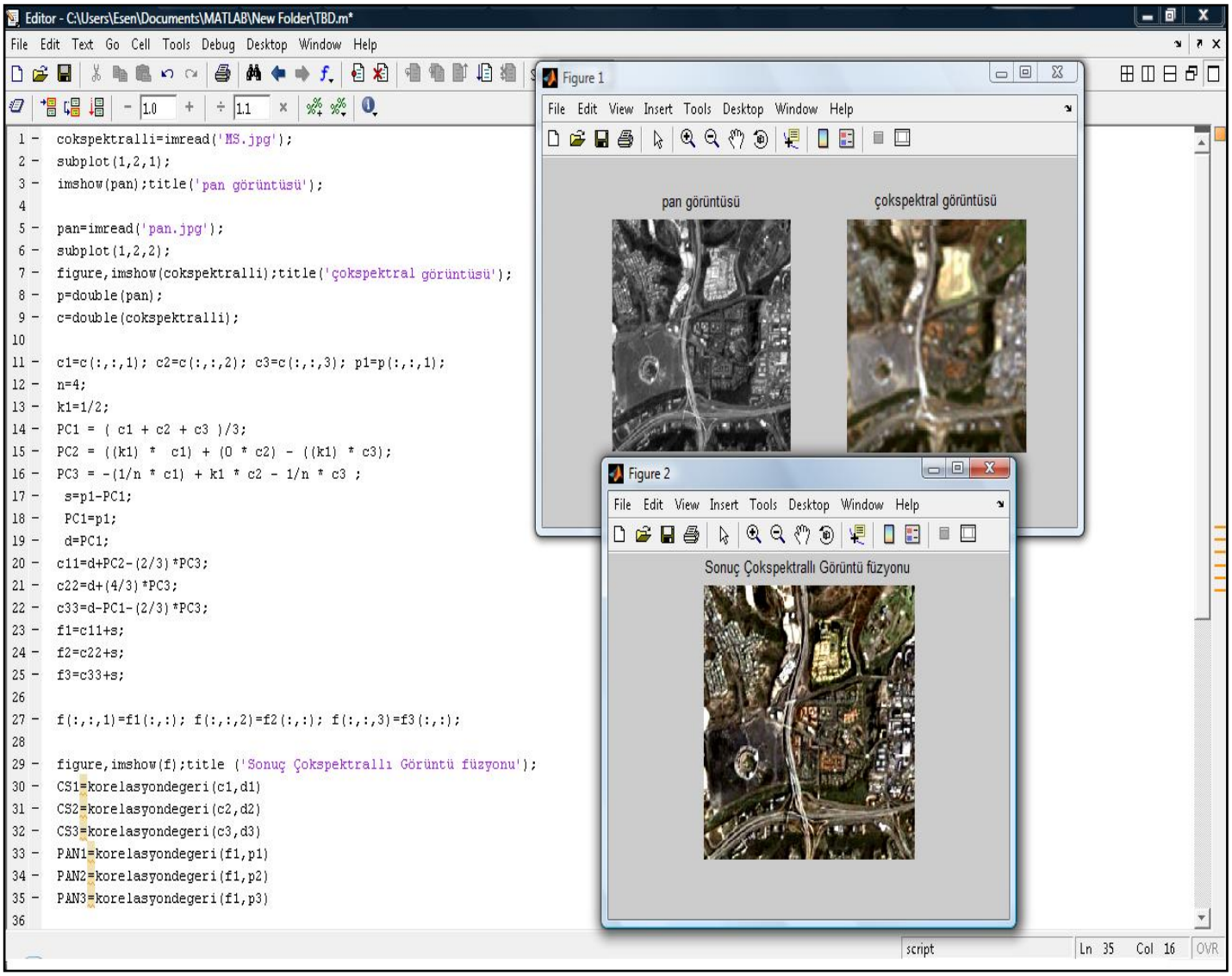
Bu çalışmada kullanılan tüm füzyon yöntemlerinin iki görüntü üzerindeki uygulanması ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



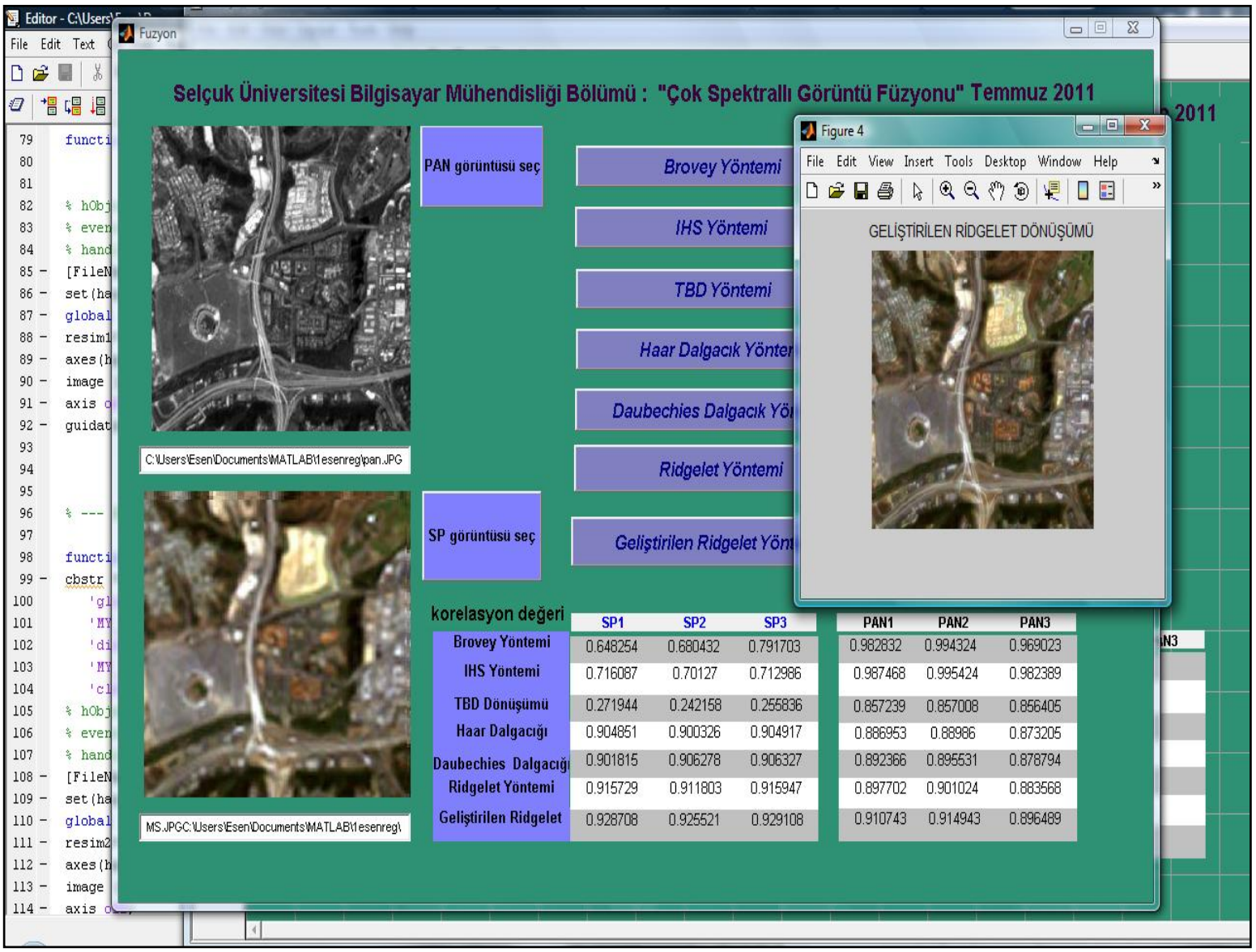
Şekil 6.2. Elde edilen görüntü sonuçları: (a) Pankromatik Spot (5 metre). (b) Çok spektrallı Lansat (30 metre). (c) Brovey yöntemi. (d) IHS yöntemi. (e) TBD yöntemi. (f) Haar dalgacık dönüşümü. (g) Daubechies dalgacık dönüşümü. (h) Ridgelet dönüşümü. (i) Geliştirilen Ridgelet dönüşümü.

6.3.Füzyon Uygulama Yazılımı

Füzyon yöntemleri çalışmasında yazılım olarak MATLAB simülasyon programı ortamında veri dosyası (m. uzantılı) kullanılmıştır ayrıca kullanıcıya kolaylılık sağlamak için MATLAB ortamında hazırlanmış olan arayüzü GUI(graphical user interface) programıda kullanılmıştır.



Şekil 6.3. M-uzantılı ortamında yazılım şekli



Şekil 6.4. GUI ortamında yazılım şekli

7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iki farklı uydu görüntüsü olan *Landsat (30m*) çok spektrallı ve *SPOT(5m*) pankromatik birleştirilmesi için farklı füzyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan görüntü füzyon yöntemleri aşağıda verilmiştir:

1. Brovey Yöntemi.
2. IHS Yöntemi.
3. TBD Yöntemi.
4. Haar Dalgacık Yöntemi.
5. Daubechies4 Dalgacık Yöntemi.
6. Ayırık Ridgelet Yöntemi.
7. Geliştirilen Ayrık Ridgelet Yöntemi.

Bu yöntemleri kullanarak elde edilen sonuç görüntüleri değerlendirilmesi için korelasyon yöntemi kullanılmıştır.

Elde edilen Füzyon sonucu görüntünün kullanılacağı alana göre uzaysal ve spektral çözünürlük beklentileri farklı olduğunu göstermektedir.

Uydu görüntüleri üzerinde yapılan Brovey dönüşümü, TBD ve IHS füzyon yöntemi, kalite ölçütlerine göre spektral bandını koruyamamaktadır (görüntünün orijinal renklerinin spektral değerlerini bozmaktadır) ve düşük korelasyon sonuçlar vermektedir. Çünkü bu yöntemler, bantlar ayrı ayrı işlendiğinden görüntüde bozulmalar meydana gelmektedir.

Dalgacık dönüşümü elde edilen görüntü füzyonu giriş görüntülerinin en önemli özelliklerini seçerek birleştirilmiş görüntünün içerisindeki bilgi miktarını arttırır aynı zamanda bu yöntem sayesinde renk bozulmaları en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

Ridgelet dönüşümü yardımıyla yapılan füzyon, bu çalışmada yeni bir yöntem olarak sunulmuştur.

Geliştirilmiş ridgelet dönüşümünde PAN görüntünün uzaysal detayları MS görüntüyü keskinleştirmek için kullanılmakta aynı zamanda görüntünün hem uzaysal hem de spektral bilgisini korunmaya çalışılmaktadır ve daha yüksek korelasyon değeri elde etmektedir. Bu yöntem Sonuç olarak, bu çalışmada ele alınan tüm yöntemler arasında en iyi sonuç vermektedir ve yüksek korelâsyona sahiptir.

Son olarak önerilen diğer füzyon yöntemlerinden yeni olan Curvelet dönüşümüdür ve bu yöntemi etkili bir şekilde kenarları belirleyebilir.

KAYNAKLAR

Akıncı, Ç., 2005, Dalgacık (Wavelet) tabanlı dağıtım sistemleri koruma algoritması, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 31-58.

Altınbaş, B., 2007, EMG sinyallerinin kısa zamanlı fourier dönüşümü ve dalgacık dönüşümü kullanarak analiz edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü,* Ankara,39-70.

Al-Helali A,, Ali H., Al-Dulaimi B, Alzubaydi, D., Mahmmoud W., 2009, Slantlet Transform for Multispectral Image Fusion, Journal of Computer Science .

Anonim, 2001, Uzaktan algılama terminolojisi. İşlem Şirketler Grubu, Ankara.

Arısoy, E., 2003, ”Dalgacık Tabanlı Senkron Generatör Koruma Algoritması”, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye.

Atak, O., 2007, Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin geometrik doğuluk ve detay değerlendirme yönünden incelenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 13-15

Avcı, A., , 2006, Wavelet dönüşümü ile doku öznitelikleri çıkarılan görüntülerin rezonans algoritması kullanılarak bölütlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 20 -30.

Ayaz, E., 1997, Dalgacıklar ve Elektrik Mühendisliğindeki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-18.

Bektaş Balçık, F., Göksel, Ç., 2009, SPOT 5 ve Farklı Görüntü Birleştirme Algoritmaları, İstanbul Teknik Universitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Muh.Bolumu, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, İstanbul.

Bulatov, A., 2006, Çok odaklı görüntü füzyonu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enistitüsü, Kayseri, 5-40.

Çamaşırcıoğlu, E., 2007, Araç plakası algılama ve tanıma, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 55-70.

Çelik, H., 2006, İstanbul Sarıyer ilçesine ait uzaktan algılama uydu verileri ile mekansal veri analizleri, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çanakkale, 23-70.

Çelik, M., 2004, Şehir Planlamada Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Çalışmaları. Türkiye 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Bildirisi. *Fatih Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , İstanbul, 6-9.

Çolak, Ö., 2006, Dalgacık dönüşümü kullanarak sismik sinyallerin analizi, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 45.

Daubechies I. (1990), The Wavelet Transform: Time-Frequency Localization and Signal Analysis, IEEE Transactions on Information Theory, Vol.36, No.5.

Emek, S., 2006, Sabit görüntüler ve video işaretleri için ayrık dalgacık dönüşümü Ayrık kosinüs dönüşümü tabanlı sayısal damaglama yöntemi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 55-65.

Fidan, S., 2006, Dalga kılavuzunda yayılan elektromanyetik dalganın dalgacık dönüşümü modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 55-90.

Ghassemian, H., 2000, Iranian Remote Sensing Center & Department of Electrical Engineering Tarbiat Modares University, Iran.

Göçeri, E., 2006, Visual C# 2005 kullanarak çok boyutlu görüntüler için jpeg2000 standardını destekleyen görüntü işleme uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 21-50.

Group, 2004, Wavelet Theory, in Aalborg University Department of Science and Technology, http://www.miba.auc.dk/~04gr701/arbejdsblade/theoryWAVE.pdf [ZiyaretTarihi: 27 Mart 2011].

Gümüş, İ., 2003, EKG Sinyallerinin Wavelet Analizi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisans Tezi*, Bursa, 13-39.

Hamza, Y., 2008, Blok kırpma kodlaması ayrık dalgacık dönüşümü dayalı, dayanıklı dijital renkli resim damgalama sistemi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 25-26.

Henglei Z., Shuang S., and Tianyou L., 2007, The ridgelet transform with non-linear threshold for seismic noise attenuation in marine carbonates, Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China.

İnce, F., 1986, Uzaktan Algılamada Sayısal Görüntü İşleme (Özel Yayın No:ÖY-86/02). Tügam Mat, Ankara.

Iyama J., Kuwamura H. (1999), Application of Wavelets to Analysis and Simulation of Earthquake Motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 28, 255-272.

Ingle, V.K., 1997 Proakis, J. G.: "Digital Signal Processing Using Matlab V.4", PWS Publishing Com., U.S.A.

Joshi M.S., Manthalkar, R.R and Joshi, Y.V., 2008, Image compression using curvelet, ridgelet and wavelet transform, A comparative study, *SGGS Institute of Engineering & Technology*, Nanded , M.S. India.

Kaplan, N., 2008, Kafes süzgeç yapıları görüntü füzyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-55.

Kitapçıoğlu, H., 2005, Sayısal görüntü bölümlenmesi ve sınıflandırılmasında temel algoritmaların yorumlanması ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Samsun, 17-60.

Kaya, Ş., 1999. Uydu Görüntüleri ve Sayısal Arazi Modeli Kullanılarak Kuzey Anadolu Fayı Gelibolu-Işıklar Dağı Kesiminin Jeomorfolojik-Jeolojik Kesiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12.

Minh N. Do, *Member*, 2003, The Finite Ridgelet Transform for Image Representation, *IEEE*, and Martin Vetterli, *Fellow, IEEE,* USA.

Multimedia Processing Laboratory School of Computer Scienve, Telecommunications and Information Systems DePaul University, Chicago IL, USA.

Murakami, T. and Takahashi M., 2009, Hybrid video coding model of finite ridgelet transform and h.264/AVC Embedded System Platform Research Laboratory, Hitachi, Ltd.292, Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama, 244-0817, Japan.

Musaoğlu, N., 1999, Elektro-Optik ve Aktif Mikrodalga Algılayıcılardan Elde Edilen Uydu Verilerinden Orman Alanlarında Meşcere Tiplerinin ve Yetişme Ortamı Birimlerinin Belirlenme Olanakları, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 18-45.

Kurnaz, M., 2006, Artımsal Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Ultrasonik Görüntülerin Bölütlenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 54.

Özbay, Y., 1999, EKG aritmilerini hızlı tanıma, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 10-15.

Pajares, G. and Manuel de la Cruz, J., 2004. A wavelet – based image fusion tutorial *Pattern Recognition,* 38, 9, 1855-1872.

Parameswariah, C., 2003, Understanding Wavelet Analysis and Filters for Engineering Applications, PHd., *College of Engineering and Science, Lousiana Tech University*.

Perfectly Matched Layers http://www.emclab.umr.edu/emap4/PML.html [ZiyaretTarihi: 3 Ocak 2010].

Piella, G., 2002. A general framework for multiresolution image fusion: from pixels to regions *Probability, Networks and Algorithms Report,* PNA– R0211**,** Centrum Voor Wiskunde en Informatica Amsterdam, The Netherlands.

Pradhan, P., 2005. Multiresolution based, multisensor, multispektral image fusion, *PhD Thesis*, *Mississippi State University*, Mississippi.

Rajabli, F., 2005, Dar bantlı video iletişim sistemlerinde dalgacık dönüşümünü kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Ankara,55-60.

Semler, L., and Dettori, L., 2007, A Comparison of Wavelet-Based and Ridgelet-Based Texture Classification of Tissues in Computed Tomography, Intelligent.

Sezgin, E., 2006, Uzaktan algılama (UA) ve coğrafik bilgi sistemi (CBS) teknikleri kullanılarak Uludağ üniversitesi Yerleşkesi'nde araz' ,örtüsü /kullanım türlerinin ve zamansal değişimlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Bursa, 40-50.

Şen, Y., 2006, Uydu görüntüleri yardımıyla yol üst yapısında meydana gelen değişinler otomatik tespiti ve yol bakım planlaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 60-80.

Turoğlu, H., 2000, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları, Acar Matbaacılık ve Yayıncılık Hizmetleri A.Ş. İstanbul. 246 s.

Uğurlu, B., 2006, Çanakkale yöresi arazi örtüsünün farklı sayısal veri karma yöntemleri belirginleştirilmesi ve bu yöntemlerin karışlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çanakkale, 11-12.

Umr, 2005, Perfectly Matched Layers http://www.emclab.umr.edu/emap4/PML.html [ZiyaretTarihi: 3 Mart 2011].

Uysal, K., 2004, Uzaktan Algılamada landsat mss ve spot xs uydu verilerinin kullanımı ile ayrıntılı jeolojik harita alımı ve yorumu ; dereboğazı (Isparta) ve çevresi örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İsparta,* 24-30

Vijayaraj,V., 2004. A quantitative analysis of pansharpened images, *PhD Thesis, Mississippi State University,* Mississippi.

Wavelet Theory, in Aalborg University Department of Science and Technology, http://www.miba.auc.dk/~04gr701/arbejdsblade/theoryWAVE.pdf [ZiyaretTarihi: 3 Ocak 2010].

Yu H., and Lun Fan J., 2010, A Blind watermarking using orthogonal finite ridgelet transform and fuzzy C-Means, Dept. of Information and Control, Xi'an Institute of Post and Telecommunications, Xi'an, Shaanxi, China.

Zhang, Y. and Hong, G., 2004. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and Quickbird images, *Information Fusion*.

Zhou J., Civco D. L. and Silander A., 1998. A Wavelet Transfrorm Method to Merge Landsat TM and SPOT Panchromatic Data, *International Journal of Remote Sensing*, 19, 743-757.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Asan İhsan ABAS
Uyruğu : IRAK
Doğum Yeri ve Tarihi : Kerkük-1984
Telefon : 05353961716
Faks : Yok
e-mail : asan_ihsan@yahoo.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Elwasıty Lisesi-Kerkük	**2003**
Üniversite	:	Kerkük Üniversitesi - Kerkük	**2007**
Yüksek Lisans	:		
Doktora	:		