İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAFES SÜZGEÇ YAPILARI İLE GÖRÜNTÜ FÜZYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Nur Hüseyin KAPLAN
(504051326)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Işın ERER
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet Hamdi KAYRAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Serhat ŞEKER (İ.T.Ü)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi ve birikimini benden esirgemeyen, ilgi ve alakasını her zaman gösteren değerli hocam Doç. Dr. Işın Yazgan ERER' e;

İyi kötü birçok şeyi paylaştığım arkadaşlarıma;

Ve tabi ki bugünlere gelmemde en ciddi rolü üstlenen, maddi manevi yardımlarıyla ömür yettiğince benle beraber olacak olan aileme;

Teşekkürlerimi, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Haziran 2008 **Nur Hüseyin KAPLAN**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
KISALTMALAR v
TABLO LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ vii
SEMBOL LİSTESİ ix
ÖZET x
SUMMARY xi

1. GİRİŞ 1
1.1 Görüntü Füzyonu Tanımı 1
1.2 Görüntü Füzyonunun Uygulama Alanları 2
1.3 Görüntü Füzyon Teknikleri 3
1.3.1 Piksel düzeyinde görüntü füzyon teknikleri 3

2 ÇOKLU SPEKTRAL (MS) VE PANKROMATİK (PAN) GÖRÜNTÜLER İÇİN FÜZYON YÖNTEMLERİ 5
2.1 IHS (Intensity-Hue-Saturation) Dönüşümü Tabanlı Füzyon 5
2.1.1 IHS (Intensity-Hue-Saturation) dönüşümü 5
2.1.2 IHS füzyon yöntemi 7
2.2 Wavelet (Dalgacık) Dönüşümü Tabanlı Füzyon 8
2.2.1 Wavelet (dalgacık) dönüşümü 8
2.2.2 Wavelet (dalgacık) tabanlı füzyon sistemi 13
2.3 DFT/RDFT Tabanlı Füzyon 15
2.3.1 DFT/RDFT ile altbantlara ayrıştırma (analiz) 16
2.3.2 DFT/RDFT ile altbantlardan orjinal işareti oluşturma (sentez) 17
2.3.3 DFT/RDFT tabanlı füzyon yapısı 19
2.4 Tümleşik Wavelet-IHS Füzyon Yöntemleri 21
2.4.1 Wavelet-IHS yöntem (1) 21
2.4.2 Wavelet-IHS yöntem (2) 22

3 GÖRÜNTÜ FÜZYONU İÇİN KAFES SÜZGEÇ YAPILARINA DAYALI YENİ YÖNTEM 26
3.1 Bir Boyutlu Kafes Süzgeç Yapısı 26
3.1.1 Bir boyutlu iki kanallı QMF bankaları 27
3.1.2 Bir boyutlu PR kafes süzgeç yapısı 28
3.2 2 Boyutlu 3 Parametreli Kafes Süzgeç Yapısı 29
3.2.1 Dikgen kafes süzgeç yapısı 30
3.2.2 Dikgen kafes süzgeç yapısıyla gerçeklenen NSPRL süzgeç bankası 33
3.3 Önerilen Füzyon Yöntemleri 35
3.3.1 Kafes süzgeç yapıları ile altbandlara ayrıştırma yöntemleri 35

3.3.1.1 Yöntem I 35
3.3.1.2 Yöntem II 36
3.3.1.3 Yöntem III 38
3.3.2 Füzyon algoritması 40
3.3.3 Tümleşik kafes-IHS yöntemleri 41
3.3.3.1 Kafes-IHS yöntem (1) 41
3.3.3.2 Kafes-IHS yöntem (2) 42

4 GÖRÜNTÜ FÜZYONU UYGULAMALARI 43
4.1 Kalite Ölçütleri 43
4.1.1 RMSE (root mean square error–ortalama karesel hatanın karekökü) 43
4.1.2 Korelasyon katsayısı 44
4.1.3 PSNR (peak signal to noise ratio–tepe işaret gürültü oranı) 45
4.2 Çoklu Odaklı (Multifocus) Görüntü Füzyonu 45
4.3 Çoklu Algılayıcılı (Multisensor) Görüntü Füzyonu 47

5 SONUÇ 51

KAYNAKLAR 54

EKLER 58

ÖZGEÇMİŞ 80

KISALTMALAR

PAN	: Pankromatik
MS	: Çoklu spektral (Multispectral)
RGB	: Kırmızı Yeşil Mavi çokluçözünürlük bandları
IHS	: Parlaklık Ton Doygunluk
PR	: Mükemmel Geri Dönme
DWT	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
IDWT	: Ters Ayrık Dalgacık Dönüşümü
DFT	: Ayrık Fourier Dönüşümü
RDFT	: Gerçek Ayrık Fourier Dönüşümü
IDFT	: Ters Ayrık Fourier Dönüşümü
IRDFT	: Ters Gerçek Ayrık Fourier Dönüşümü
SWT	: Durağan Dalgacık Dönüşümü
QMF	: Çeyrek Ayna Süzgeci (Quadrative Mirror Filter)
FIR	: Sonlu İmpuls Yanıtı
3PLF	: 3 Parametreli Kafes Süzgeç
NSPRL	: Ayrıştırılamayan Mükemmel Geri Dönüşlü Kafes
RMSE	: Ortalama Karesel Hatanın Karekökü
PSNR	: Tepe İşaret Gürültü Oranı

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	**:**0.78 π kesim frekansında elde edilen Kafes katsayıları	36
Tablo 3.2	**:**Hesaplanan Kafes Katsayıları	40
Tablo 4.1	**:**Farklı bant kombinasyonları için korelasyon değerleri	48
Tablo 4.2	**:**Görüntülerin her bir bandı ile PAN görüntü arasında korelasyon değerleri	49
Tablo B.1	**:**İlk test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri	73
Tablo B.2	**:**İkinci test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri	74
Tablo B.3	**:**Üçüncü test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri	75
Tablo B.4	**:**Dördüncü test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri	76

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	**:** Örnek bir resmin RGB-IHS dönüşümü	6
Şekil 2.2	**:** Dairesel renk modeli	7
Şekil 2.3	**:** IHS görüntü füzyonu	7
Şekil 2.4	**:** Zaman –Frekans Gösterimi	8
Şekil 2.5	**:** Dalga formları arasında karşılaştırma	9
Şekil 2.6	**:** Konjuge filtre çiftlerini kullanan basit wavelet yapıları	12
Şekil 2.7	**:** DWT ile 2 boyutlu altbantlara ayrıştırma ve geriye çatma yapıları	12
Şekil 2.8	**:** İki boyutlu görüntü ayrıştırma şeması	13
Şekil 2.9	**:** Wavelet tabanlı füzyon sistemi	14
Şekil 2.10	**:** DFT/RDFT tabanlı görüntü füzyonu şeması	20
Şekil 2.11	**:** Wavelet ve IHS tabanlı birinci yönteminin akış diyagramı	22
Şekil 2.12	**:** Wavelet ve IHS tabanlı ikinci yönteminin akış diyagramı	23
Şekil 3.1	**:** 1 boyutlu Kafes Süzgeç Yapısı	26
Şekil 3.2	**:** İki kanallı QMF bankası	27
Şekil 3.3	**:** 1 Boyutlu QMF Kafes Yapısı	28
Şekil 3.4	**:** 2 boyutlu spektrumun 4 bant kesidi	31
Şekil 3.5	**:** NSPRL için modifiye edilmiş çoklu fazlı gösterim	33
Şekil 3.6	**:** NSPRL süzgeç bankasının analiz bölümü	34
Şekil 3.7	**:** NSPRL süzgeç bankasının sentez bölümü	35
Şekil 3.8	**:** Kafes Süzgeçlerle Füzyon Şeması	40
Şekil 3.9	**:** Kafes ve IHS tabanlı birinci yönteminin akış diyagramı	41
Şekil 3.10	**:** Kafes ve IHS tabanlı ikinci yönteminin akış diyagramı	42
Şekil 4.1	**:** İlk Test Kümesi	46
Şekil 4.2	**:** İkinci Test Kümesi	46
Şekil 4.3	**:** ÜçüncüTest Kümesi	46
Şekil 4.4	**:** Dördüncü Test Kümesi	47
Şekil A.1	**:** $w_{s1}=0.78\ \pi$ – $w_{s2}=0.78\ \pi$ kesim frekanslarında 2 boyutlu filtre tasarımı	58
Şekil A.2	**:** $w_{s1}=0.22\ \pi$ – $w_{s2}=0.78\ \pi$ kesim frekanslarında 2 boyutlu filtre tasarımı	59
Şekil A.3	**:** $w_{s1}=0.22\ \pi$, $w_{s2}=0.22\ \pi$ kesim frekanslarında 2 boyutlu filtre tasarımı	60
Şekil A.4	**:** Tek boyutlu süzgeç bankasından elde edilen 2 boyutlu süzgeç bankasının frekans cevapları	60
Şekil B.1	**:** İlk test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları	61
Şekil B.2	**:** İlk test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları	62
Şekil B.3	**:** İlk test kümesi için Kafes süzgeç yapılı ve DFT/RDFT füzyon sonuçları	63
Şekil B.4	**:** İkinci test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları	64
Şekil B.5	**:** İkinci test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları	65

Şekil B.6 : İkinci test kümesi için Kafes süzgeç yapılı ve DFT/RDFT füzyon sonuçları 66
Şekil B.7 : Üçüncü test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları 67
Şekil B.8 : Üçüncü test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları 68
Şekil B.9 : Üçüncü test kümesi için Kafes süzgeç yapılı ve DFT/RDFT füzyon sonuçları 69
Şekil B.10 : Dördüncü test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları 70
Şekil B.11 : Dördüncü test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları 71
Şekil B.12 : Dördüncü test kümesi için Kafes süzgeç yapılı ve DFT/RDFT füzyon sonuçları 72
Şekil B.13 : SPOT uydusu görüntüleri 77
Şekil B.14 : Çeşitli füzyon yöntemleri sonucunda elde edilen görüntüler 78
Şekil B.15 : Tümleşik füzyon yöntemleri sonucunda elde edilen görüntüler 79

SEMBOL LİSTESİ

x[n]	**:** Bir boyutlu işaret
X[k]	**:** Bir boyutlu işaretin DFT si
I(x)	**:** Bir boyutlu işaret
I(x,y)	**:** İki boyutlu işaret
R	**:** Kırmızı band değerleri
G	**:** Yeşil band değerleri
B	**:** Mavi band değerleri ı
v_1	**:** Dönüşüm katsayıları
v_2	**:** Dönüşüm katsayıları
Ψ(t)	**:** Dalgacık Fonksiyonu
$D_{m,n}$	**:** Detay Dalgacık Katsayıları
$A_{m,n}$	**:** Kaba Çözünürlük Dalgacık Katsayıları
Φ(t)	**:** Dalgacık Ölçekleme Fonksiyonu
f(u)	**:** İşaret
k,α	**:** Kafes Katsayıları
e	**:** Kafes Yapılarının öngörü hataları

KAFES SÜZGEÇ YAPILARI İLE GÖRÜNTÜ FÜZYONU

ÖZET

Görüntü füzyonu, basitçe aynı görüntünün farklı biçimlerinden yeni ve geliştirilmiş bir görüntü elde etme işlemidir. Belirli bir bölgenin farklı uydular aracılığıyla elde edilen görüntüleri veya bir fotoğrafın farklı bozulmalara uğramış kopyaları, görüntü füzyonu yoluyla birleştirilerek, tek bir görüntüyle algılanması mümkün olmayan özelliklerin tespit edilmesi sağlanır. Füzyon görüntüsü, orjinal görüntülerin tamamlayıcı bilgilerini içerdiğinden, bu görüntülere oranla daha iyi özelliklere sahiptir. Sonuç olarak, füzyon ile insanın görsel algılayışı ve görüntü işleme uygulamalarında kullanması için iyileştirilmiş görüntüler elde etmek mümkündür.

Görüntü füzyonunun en çok kullanıldığı alan olan Uzaktan Algılama için tasarlanan cihazlar, ya renk bilgisi olan düşük çözünürlükte, ya da renk bilgisi olmayan, yüksek çözünürlükte görüntüler elde ederler. Görüntü füzyonu, tam bu noktada devreye girerek, hem çözünürlüğü yüksek, hem renk bilgisi içeren yeni bir görüntünün elde edilmesini sağlar. Dolayısıyla, görüntü füzyonu, giriş görüntülerinin en iyi özelliklerini seçme işlemi olarak da adlandırılabilir.

Tarihi gelişim sürecinde, birçok füzyon metodu önerilmiştir. En etkin özelliği gösteren yöntemler, çokluçözünürlük yöntemleridir. Çokluçözünürlük metodlarında füzyon işlemi üç adımda gerçekleşir. İlk adımda, giriş görüntüleri alt bandlarına ayrılır, ikinci adımda altbandlar önceden belirlenmiş bir kural çerçevesinde birleştirilir ve son adımda oluşan yeni altbandlardan, füzyon görüntüsü elde edilir.

Bu çalışmada, çoklu çözünürlük yöntemleri arasında, yaygın olarak kullanılan Dalgacık Dönüşümü tabanlı füzyon ile yakın zamanda önerilmiş olan DFT/RDFT tabanlı füzyon incelenmiştir. Çokluçözünürlük 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.

Kafes süzgeç yapılarının da görüntüleri altbandlarına ayrıştırabildiği ve mükemmel geriçatma özelliğine sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, kafes yapıların kullanıldığı üç farklı füzyon algoritması önerilmiş, ayrıca, tıpkı Dalgacık IHS tümleşik yöntemleri gibi Kafes IHS tümleşik yöntemleri gerçeklenmiştir.

Önerilen kafes süzgeç yapılarına dayalı yöntemler çoklu odaklı görüntü füzyonunun yanı sıra çokluspektral ve pankromatik SPOT görüntülerinin füzyonu için kullanılmış ve tez çalışmasında incelenen diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar belli kriterlere göre değerlendirildiğinde, Kafes Süzgeç Yapıları ile füzyonun, DFT/RDFT tabanlı yöntemden daha iyi olduğu ve Dalgacık dönüşümü ile de çok yakın sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Kafes süzgeçlerle gerçeklenen füzyon algoritmalarının basit ve hızlı olduğu göz önünde bulundurulunca, wavelet dönüşümü tabanlı yöntemlere iyi bir alternatif olacağı açıktır.

IMAGE FUSION VIA LATTICE FILTER STRUCTURES

SUMMARY

Image fusion, is basically the process of obtaining a new and improved image from different forms of the same image. The images obtained for a specific region by different satelittes or copies of a photograph having different corruptions are merged by image fusion to obtain the characteristics that can not be sensed individually by original images. Including the complementary informations of the original images, fused image has better characteristics than these images. As a result, it is possible to obtain improved images, which are better for human visual sense and for further image processing applications.

Remote Sensing, being the most used area in image fusion, uses devices that develop two different kinds of image, one of them involves the colour information with low resolution, the other has high resolution without colour information. At this point, image fusion is applied in order to develop an image having both high resolution and colour information. Therefore, image fusion can be also named as choosing the best characteristics of the input images.

Considering the historical background of image fusion, there are lots of methods proposed. The multiresolution image fusion techniques have the most effective features among these methods. In multiresolution techniques, fusion algorithm has three steps. First step is subband decomposition of the input images, second step is merging the subbands by a rule predefined and final step is reconstruction of the merged subbands.

In this work, widely used Wavelet Transform based image fusion and recently proposed DFT/RDFT based image fusion methods are represented as multiresolution methods. In addition to these multiresolution methods, IHS transform based image fusion, which has a colour transform based algorithm, and integrated Wavelet-IHS image fusion methods are discussed.

It is known that lattice filter structures can also decompose the images into subbands and have perfect reconstruction property. In this work, three different fusion algorithms using these lattice structures are proposed, and likeas the Wavelet-IHS integrated methods, Lattice-IHS methods are realized.

The proposed lattice filter structures based methods are used for the fusion of multispectral and panchromatic SPOT images, as well as the multifocused image fusion. The results by predefined criterias concludes that; Lattice Structure based image fusion is better than the DFT/RDFT based one and so close to the wavelet based image fusion. Considering the simplicity and the fastness of the fusion algorithms realized by lattice filter structures; it is clear that these methods will be a good alternative to the wavelet based image fusion methods.

1. GİRİŞ

1.1 Görüntü Füzyonu Tanımı

Görüntü füzyonu, farklı algılayıcılarla elde edilen görüntülerin birbirinin eksik yönünü tamamlayacak biçimde birleştirilmesi işlemine denir [1]. Füzyonun temeli aynı veri için farklı bilgiler içeren veri kümelerinin kullanılmasına dayanır. Bu veri kümeleri farklı algılayıcılarla veya farklı koşullarda toplanabilir. Örneğin, bir bölgenin farklı uydulardan çekilmiş görüntüleri veya bir fotoğrafın farklı bozulmalara uğramış kopyaları, görüntü füzyonu yoluyla birleştirilerek, tek bir algılayıcı kullanılarak algılanması mümkün olmayan özelliklerin tespit edilmesi sağlanır. Füzyon sonucunda elde edilen görüntü, kaynak görüntülerin tamamlayıcı bilgilerini içerdiğinden, giriş görüntülerine oranla daha iyi özelliklere sahiptir. Böylelikle, farklı bilgilerin birleştirilmesi ile insanın görsel algılayışı için daha uygun ve birçok görüntü işleme uygulamasında kullanılmak üzere iyileştirilmiş bir görüntü elde edilebilmektedir.

Görüntü füzyonunun amaçları düşünüldüğünde, füzyon algoritmasının sahip olması gereken bazı özellikler bulunmaktadır [2,3];

1. Füzyon algoritması, giriş görüntülerindeki belirgin özellikleri göz ardı etmemelidir.

2. Füzyon algoritması, gözlemciyi veya ileri görüntü işleme adımlarını yanıltacak hiçbir yapaylığa veya tekrarlamaya izin vermemelidir.

3. Füzyon algoritması, güvenilir ve dayanıklı olmasının yanı sıra, gürültü ve yapaylık gibi kusurlara karşı da toleransı mümkün olduğunca yüksek olmalıdır [4].

1.2 Görüntü Füzyonunun Uygulama Alanları

Görüntü füzyonu; görüntüyü içeren uygulamaların tamamında kullanılabilir. En çok kullanıldığı alanlar; medikal görüntüleme, askeri uygulamalar ve uzaktan algılamadır.

1-) Medikal Görüntüleme: Medikal görüntülerin füzyonu, teşhis ve tedavi yöntemleri gibi klinik uygulamalar açısından oldukça faydalıdır. Örneğin; bir hasta beyninin sadece anatomik bilgi içeren manyetik rezonans görüntüleri ile sadece beyin aktivitelerini gösteren tomografi görüntülerinin, tek bir görüntüde hem fonksiyonel hem de anatomik bilgi olacak şekilde birleştirilmesi sağlanır. Aynı zamanda uzamsal çözünürlüğü düşük olan tomografi görüntüsüne göre çok daha iyi bir çözünürlükte görüntü elde edilmiş olur.

2-) Dijital Fotoğrafçılık: CCD (Charge Coupled Device) aletlerinde optik lenslerin sınırlı odak derinliği nedeni ile, ilgili tüm nesnelerin odakta olduğu bir görüntü elde etmek mümkün değildir. Bu nedenle, bir füzyon işlemi sayesinde tüm odaklanmış görüntülerin seçilmesi sağlanır [1].

3-) Uzaktan Algılama: Görüntü füzyonunun en önemli uygulama alanlarından biri uzaktan algılamadır. Uydu görüntüleri kullanılan araştırmalarda maksimum düzeyde bilgi elde etmek için, görüntünün hem yüksek uzamsal hem de yüksek spektral çözünürlüğe sahip olması beklenir. Ancak yüksek uzamsal ve spektral çözünürlük sağlamak üzere algılayıcıların tasarımı; uzamsal, spektral çözünürlük ile işaret gürültü oranı arasındaki denge nedeni ile kısıtlanır. Bu durumda, yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik (PAN-panchromatic) görüntü ile yüksek spektral çözünürlüklü çoklu spektral (MS-multispectral) görüntü kanallarından elde edilen bilgiler birleştirilir. Bu amaçla pek çok görüntü füzyon metodu geliştirilmiştir. Bu yöntemler PAN görüntünün uzamsal detaylarını, yüksek uzamsal ve spektral çözünürlüklü bir görüntü elde etmek üzere MS görüntü ile birleştirirler. Uzaktan algılama literatüründe füzyon işlemi "pansharpening" olarak isimlendirilir; çünkü birleştirme işleminde, PAN görüntünün uzamsal detayları MS görüntüyü keskinleştirmek için kullanılmaktadır. Bu işlemler dahilinde MS görüntünün uzamsal çözünürlüğü arttırılırken, spektral bilgisi korunmaya çalışılır [5].

1.3 Görüntü Füzyonu Teknikleri

Görüntü füzyonu uygulamalarında, füzyonun nasıl uygulanacağına dair farklı yaklaşımlar olmuştur. Bu yaklaşımlar genel olarak, nesne düzeyinde, öznitelik düzeyinde ve piksel düzeyinde görüntü füzyon teknikleridir. Tezin konusunu da oluşturan piksel düzeyinde görüntü füzyonu teknikleri, görüntülerin piksel bilgilerini baz alan yöntemlerdir.

1.3.1 Piksel düzeyinde görüntü füzyon teknikleri

Sadece piksel bilgisine dayanan piksel tabanlı füzyon yöntemlerinin avantajı, uygulanan algoritmaların daha basit olması, ayrıca kullanılan görüntülerin orjinal bilgiyi içermesidir. Bu nedenle birçok görüntü füzyonu uygulaması piksel tabanlı yapılmaktadır. Füzyon işlemini gerçekleştirmek üzere birçok metot önerilmiştir. Bu metotlar genel olarak aritmetik füzyon yöntemleri, renk füzyon yöntemleri ve çoklu çözünürlüklü yöntemler olmak üzere üçe ayrılır.

Aritmetik füzyon algoritmalarında piksellerin orjinal değerleri üzerinde basit matematiksel işlemler yapılır. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılan, giriş görüntüleri arasında hesaplanan ortalama değerler yardımıyla füzyon edilmiş görüntünün elde edilmesidir. Bu metot basit olmak ile beraber, giriş görüntülerinin birbirine benzemediği durumlarda iyi sonuç vermemektedir.

Yaygın olarak kullanılan renk füzyon yöntemlerinden biri, Standart RGB (red-green-blue: kırmızı-yeşil-mavi) görüntülerindeki uzamsal (I) ve spektral (H, S) bilgilerin ayrılmasını sağlayan IHS (intensity-hue-saturation: parlaklık-ton-doygunluk) dönüşümüdür [6].

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

Görüntü füzyonu işlemini gerçekleştirebilmek için birçok metot önerilmiştir. Bu metotların bir kısmı bu çalışmada gerçeklenmiştir. Bunlardan ilki, IHS (Intensity – Hue – Saturation) dönüşümü tabanlı yaklaşımdır ki; bu yaklaşımda, görüntü IHS dönüşümünden geçirilir, elde edilen I, H ve S değerleri üzerinde yapılan uygun değişikliklerden sonra, ters IHS dönüşümü yardımıyla geri dönülür. IHS sistemi tek

başına kullanıldığında oldukça kötü sonuçlar vermektedir. Bu amaçla wavelet – IHS entegre yöntemleri önerilmiştir [7].

Bu çalışma dahilinde ele alınan diğer füzyon yöntemlerinin tamamı çokluçözünürlük metodları olup bazı ortak özellikleri vardır. Bunları maddeler halinde yazmak gerekirse;

1. Giriş görüntüleri, kullanılan yöntem dahilinde altbandlarına ayrıştırılır

2. Farklı görüntülerden gelen bu altbantlar yeni altbantlar oluşturmak üzere birleştirilebilir. Birleştirme işleminde, orjinal görüntülerdeki yararlı bilgiler, birleştirilmiş görüntüye aktarılır.

3. Birleştirilmiş altbandlardan füzyon görüntüsü elde edilir.

Çokluçözünürlük metodları içerisinde, dalgacık dönüşümü tabanlı yaklaşım, en ideal yöntemlerden biridir[1-5]. Bir diğer yöntem ise DFT/RDFT dönüşümlerini baz alan yöntemdir [8]. Son olarak, tezin ana konusunu oluşturan kafes yapılı süzgeçler ile füzyon gerçeklenmiştir .

Kafes yapılı süzgeçler yardımıyla altbantlara ayrıştırma ve geri dönülebilir yapılar elde edilebildiği gözlemlenmiştir [9-12]. Buradaki yapılar için kafes katsayılarının optimize edilmesi ve yapıların füzyona uygulanması, bu tezin ana konusudur. Kafes süzgeç yapıları ile altband ayrışımına dayalı üç farklı yöntem bu çalışma dahilinde önerilmitir. Ayrıca, kafes yapılı süzgeçler yardımıyla gerçeklenen füzyon sisteminin wavelet tabanlı sisteme olan benzerliği kullanılarak, wavelet – IHS tümleşik yöntemlerindeki wavelet yerine uygun yapılar konularak bu yöntemler de gerçeklenmiştir.

Bu tez şu şekilde düzenlenmiştir: İlk bölüm görüntü füzyonunun tanımı, uygulama alanları ve çeşitli füzyon yöntemleri hakkında bilgi vermektedir. 2. bölüm, bazı piksel düzeyinde füzyon algoritmalarının teorik yapılarını kapsamaktadır. Bu bölümde sırasıyla, IHS Dönüşümü, Dalgacık Dönüşümü, DFT/RDFT tabanlı füzyon, Kafes Yapılı Süzgeçler ve Tümleşik yöntemler anlatılmıştır. 3. bölümde ise füzyon yöntemleri kalite ölçütleri yardımıyla karşılaştırılmıştır. Bazı test görüntüleri kullanılarak, hangi dalgacık ailesinin ve kafes katsayılarının kullanılacağı ile ayrıştırma seviyesinin kaç olacağı belirlenmiştir. Bu bölümde son olarak, SPOT uydu görüntüleri üzerinde incelenen yöntemler için ayrıntılı sonuçlar verilmiş ve verimlilikleri nicel analiz kullanılarak gösterilmiştir. Son bölümde ise sonuçlandırıcı açıklamalar ve çeşitli tavsiyeler verilmiştir.

2. ÇOKLU SPEKTRAL (MS) VE PANKROMATİK (PAN) GÖRÜNTÜLER İÇİN FÜZYON YÖNTEMLERİ

Spot uydularından elde edilen görüntülerin füzyonu için bir çok metot önerilmiştir. Bu metotların bir kısmı bu çalışmada ele alınmıştır. Bunlardan ilki renk kodlamasına dayalı bir yöntem olan IHS dönüşümünü temel alan yöntemdir. Bir diğeri ise füzyon için yaygın olarak kullanılan Dalgacık dönüşümü tabanlı yöntemdir. Füzyon süreci waveletle birebir örtüşen diğer bir yöntem de DFT/RDFT tabanlı yaklaşımdır.

2.1 IHS (Intensity-Hue-Saturation) Dönüşümü Tabanlı Füzyon

IHS sistemi; renklerin parlaklık, ton ve doygunluk değerlerine göre sınıflandırıldığı bir renk sistemidir. Bu dönüşüm yardımıyla füzyon işlemi, RGB sistemindeki görüntünün uygulanan bir dönüşüm aracılığı ile IHS sistemine çevrilip elde edilen parlaklık değerinin pankromatik görüntü ile yer değiştirmesi ve ters IHS dönüşümü yardımıyla yeni görüntünün elde edilmesi şeklinde gerçeklenir.

2.1.1 IHS dönüşümü

IHS metodu, RGB görüntüyü uzamsal ve spektral bileşenlerine ayırır. Intensity, bir görüntünün toplam parlaklığını ifade eder ve tek renkli görüntülerin en kullanışlı tanımlayıcısıdır. Şekil 2.2 de görülen dairesel renk modelinde, siyah ve beyaz noktaları birleştiren dikey eksen boyunca bir nokta, [0,1] arasında değişen intensity değerini verir. Hue ise baskın dalga boyunu ifade etmektedir ve dairesel modelde belli bir referans noktasından açı ile belirlenir. Genellikle kırmızı eksende sıfır derece olarak kabul edilen açı, sıfır hue olarak belirtilir ve hue değeri saat yönünün tersi yönde artar. Son olarak Saturation, görüntünün griye göre saflığını ifade eder ve renk modelinde orijinden noktaya olan vektör uzunluğu olarak tanımlanır [13]. Şekil 2.1 de örnek bir resmin RGB–IHS dönüşüm gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Örnek bir resmin RGB-IHS dönüşümü a) RGB uzayında orjinal resim b) IHS uzayında parlaklık c) IHS uzayında ton d) IHS uzayında doygunluk

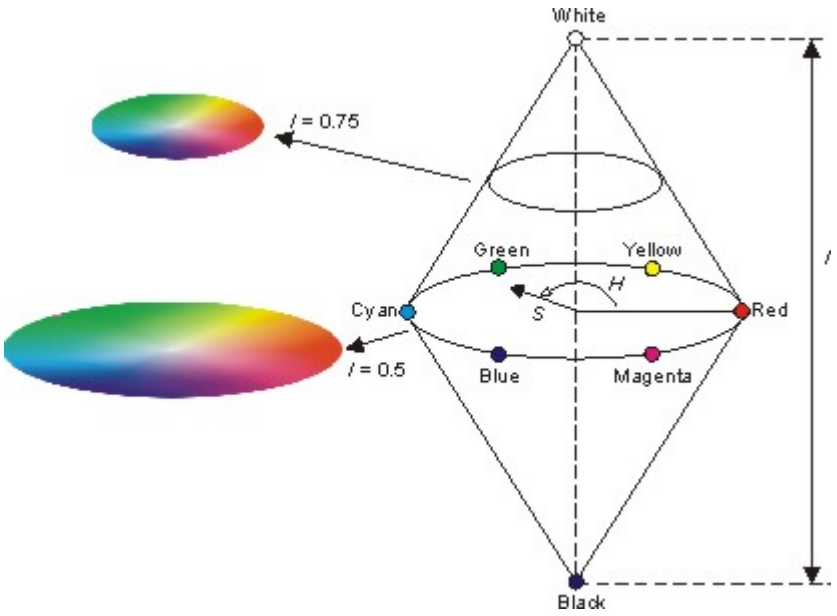
IHS dönüşümünde genellikle silindirik veya küresel koordinatlar ile belirlenen IHS değerleri, lineer bir dönüşüm kullanılarak v_1 ve v_2 değerleri aracılığı ile kartezyen koordinatlara eşleştirilir. Dairesel model için dönüşüm eşitlikleri;

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{v1}{v2}\right) \qquad S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \qquad \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \tag{2.1}$$

Ters dönüşüm ise;

$$v_1 = S\cos(H) \qquad v_2 = S\sin(H) \qquad \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{-1}{\sqrt{3}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \tag{2.2}$$

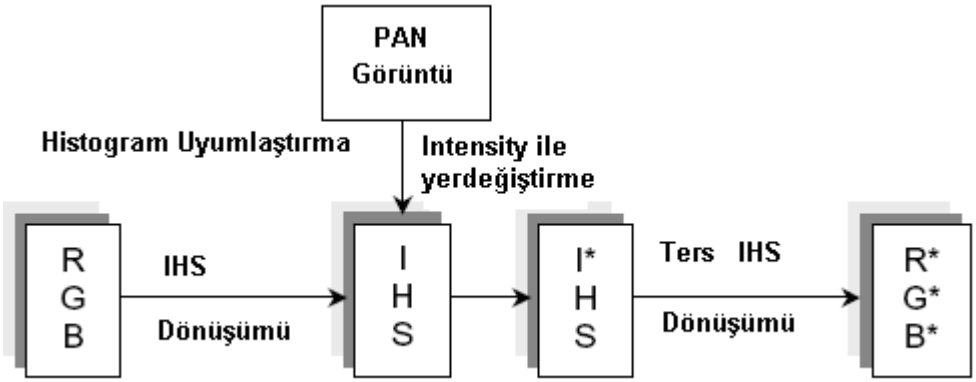
şeklinde elde edilmektedir [7].



Şekil 2.2. Dairesel renk modeli

2.1.2 IHS füzyon yöntemi

IHS renk sistemindeki Intensity (I) görüntünün uzamsal frekansları ile ilgilidir ve çoğunlukla pankromatik görüntüyle benzeşmektedir. Bu özellikten yararlanılarak, yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik görüntü ile düşük uzamsal çözünürlüklü renk bilgisi içeren görüntü füzyona tabi tutulur. Görüntü füzyonunu gerçekleştirmek için, çoklu çözünürlüklü (MS) görüntünün üç bandı (kırmızı=R, yeşil=G, mavi=B) RGB renk uzayından IHS renk uzayına dönüştürülür. Daha sonra Intensity görüntünün yerine PAN yerleştirilir. Daha iyi kalitede görüntü elde edebilmek için, yer değiştirme işleminden önce, pankromatik görüntü ile I görüntü üzerinde histogram uyumlaştırma işlemi yapılmalıdır. Yer değiştirme işleminden sonra, PAN görüntü ile H ve S görüntüleri birlikte ters IHS dönüşümünden geçirilerek füzyon görüntüsü elde edilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. IHS görüntü füzyonu

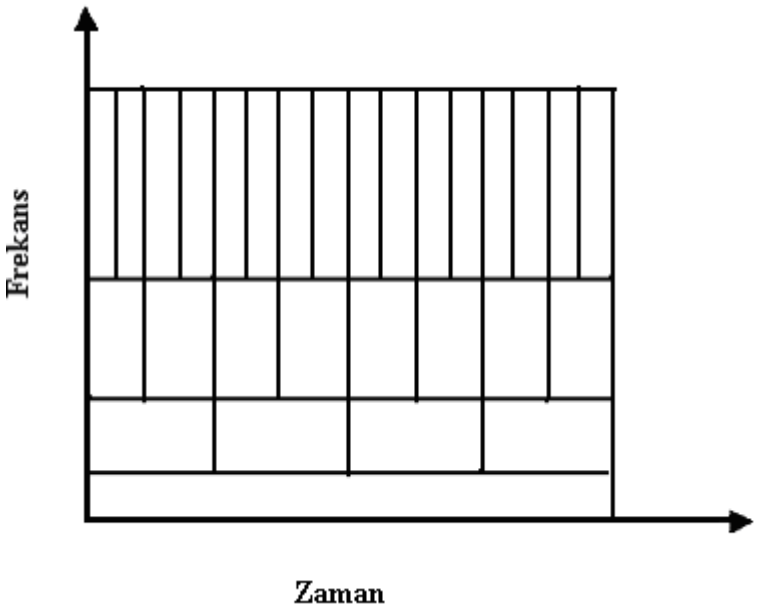
IHS renk füzyon yöntemi uygulama açısından oldukça kolay olup, hesaplama zamanı diğer yöntemlere göre kısadır. PAN görüntü ile I görüntü arasında yüksek bir korelasyon varsa füzyon tatmin edici bir sonuç verir; renk bozunumu daha az olur. Pratikte ise, bu iki görüntü arasındaki korelasyon düşük olmaktadır. Bu yüzden, IHS füzyon yöntemi MS görüntünün orjinal renklerinin spektral değerlerini bozmaktadır ve bu durum yöntemin en önemli sorunlarından biridir [7].

2.2 Wavelet (Dalgacık) Dönüşümü Tabanlı Füzyon

Wavelet (dalgacık) tabanlı füzyon yöntemlerinde, ilk olarak işaret işleme alanında geliştirilen matematiksel araçlar olan Wavelet dönüşümleri kullanılır. Wavelet dönüşümü bir görüntüyü farklı uzamsal çözünürlüklere sahip alt görüntülere ayrıştırır.

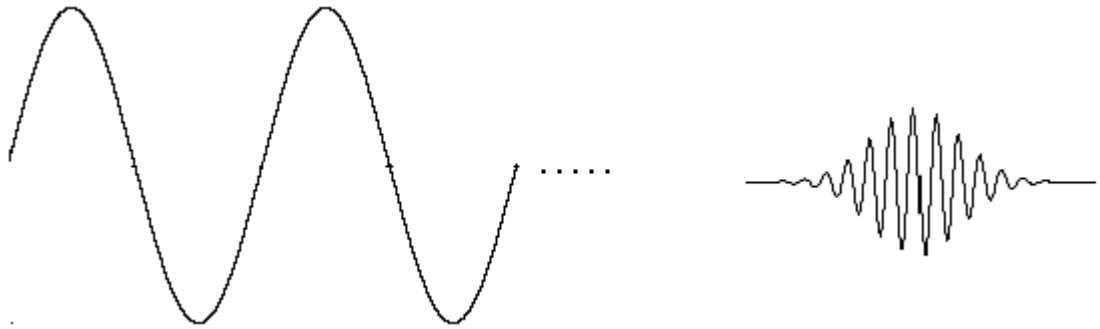
2.2.1 Ayrık wavelet (dalgacık) dönüşümü

Wavelet dönüşümü yüksek frekanslarda zaman çözünürlüğü frekans çözünürlüğüne göre daha iyi, alçak frekanslarda ise frekans çözünürlüğü zaman çözünürlüğüne göre daha iyi olacak şekilde tasarlanır (Şekil 2.4). İşaretin alçak frekans bileşenleri işaretin yaklaşıklığını (approximation), yüksek frekans bileşenleri ise detay bilgilerini içerdiğinden dalgacık dönüşümü işaret işleme alanında yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır [14].



Şekil 2.4. Zaman –Frekans Gösterimi

Bir dalgacık, ortalaması sıfır olan ve sınırlı süreklilik gösteren bir fonksiyondur. Wavelet fonksiyonları dalgalar gibidirler, ancak sınırlı bir aralığa kırpıldıklarından ötürü bu şekilde adlandırılırlar. [7,14,15]. Sinüzoidal dalga formu ile dalgacık formu arasındaki karşılaştırma aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 2.5).



(a) (b)

Şekil 2.5. Dalga formları arasında karşılaştırma (a) sinusoidal dalga formu (b) dalgacık formu

Wavelet dönüşümünün fikri basitçe waveletlerin ağırlıklı süperpozisyonu olan işaret oluşturmaktır. Waveletler, ana wavelet fonksiyonu denen (Ψ(t)) bir tek prototip fonksiyonunun genişlemesi ve dönüşmesinden elde edilen fonksiyonlardır [14].

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2}\,\Psi(\frac{t-b}{a}) \qquad \textbf{(2.3)}$$

Wavelet dönüşümü, hem uzamsal hem de spektral bölgede, yer belirleme özelliklerinin iyi olması sebebiyle görüntü füzyonu uygulamalarında gayet yararlı olur. Bu özellikler, waveletlerin tek bir prototip fonksiyondan elde ediliyor olmasının doğal sonuçlarıdır. Wavelet gösteriminden orjinal görüntü gösterimini tekrar elde edebilmek için, wavelet prototipi aşağıdaki koşulu sağlamalıdır [15].

$$\int \frac{|\Psi(w)|^2}{|w|}\,dw < \infty \qquad \textbf{(2.4)}$$

Bu eşitlikte Ψ(w), Ψ(t) nin Fourier dönüşümünü gösterir.

DWT (Ayrık Dalgacık Dönüşümü), orjinal görüntüyü, $a=2^m$ lik bir genişletme oranı ve $b=nx2^m$ dönüşüm dereceleriyle uzay bölgesi boyunca hareket ettirerek, ikinin katı

olan bir oranda ayrılmış olan çözünürlüklerde, çoklu çözünürlüklü gösterimini oluşturur. Dolayısıyla mevcut işaretin DWT gösterimi aşağıdaki biçimde olur:

$$f(t) = \sum_{m,n} D_{m,n}^{f} \Psi_{m,n}(t) \tag{2.5}$$

Burada $D_{m,n}$ orjinal işaret ile prototip fonksiyonun dönüştürülmüş ve genişletilmiş versiyonları arasındaki benzerliğin ölçüsüdür [15].

$$\Psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \Psi\left[2^{-m} t - n\right] \tag{2.6}$$

Bir içsel çarpım yardımıyla, orjinal görüntüden wavelet katsayıları elde edilebilir.

$$D_{m,n}^{f} = \left\langle f, \Psi_{m,n} \right\rangle = \int \Psi_{m,n}(t) f(t) dt \tag{2.7}$$

Waveletin çoklu çözünürlük analizlerinde ayrıca bir ölçekleme fonksiyonu olan Φ(t) kullanılır. Belirli bir m değeri için, ölçekleme fonksiyonunun ölçeklenmiş ve dönüştürülmüş versiyonları şu şekilde bulunur.

$$\phi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \phi(2^{-m} t - 2^{-m} n) \tag{2.8}$$

Bu fonksiyon, orjinal işaretin düşük çözünürlüklerde yaklaşımını sağlar ki buna ayrık "kaba çözünürlük" ($A_{m,n}$) denir. f(t) nin 2^{m} deki kaba çözünürlüğü ile 2^{m-1} in kaba çözünürlüğü, bu çözünürlükteki giriş işareti ile ölçekleme fonksiyonunun genişletilmiş versiyonlarının içsel çarpımı yardımıyla elde edilir.

$$A_{m,n}^{f} = \left\langle f, \phi_{m,n} \right\rangle = \int \phi_{m,n}(t) f(t) dt$$

$$A_{m-1,n}^{f} = \left\langle f, \phi_{m-1,n} \right\rangle = \int \phi_{m-1,n}(t) f(t) dt \tag{2.9}$$

Gösterilebilir ki; üst seviyelerdeki kaba çözünürlükler, yinelemeli bir algoritma yardımıyla en düşük seviyedeki yaklaşıklık olan $A_{1,n,}$ yani f(t) den elde edilebilirler. Bu algoritma, düşük seviyedeki yaklaşıklık ile bir ayrık filtre olan $\hat{h}(n)$ ile konvolüsyonunu alarak ve sonucun diğer bütün örnek değerlerini tutarak daha yüksek seviyedeki yaklaşıklığı bulur [15].

$$\left\langle f(u), \phi_{m,n}(u) \right\rangle = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \tilde{h}(2n-k) \left\langle f(u), \phi_{m-1,k}(u) \right\rangle \tag{2.10}$$

$\hat{h}(n)$, h(n) nin aynasıdır. (örneğin $\hat{h}(n) = h(-n)$). h(n) ise ayrık çözünürlükteki ölçekleme fonksiyonlarının bir içsel çarpımı olarak verilir:

$$h(k) = \langle \phi_{-1}(u), \phi_0(u-k) \rangle, \qquad \forall k \in Z \tag{2.11}$$

Pratikte, h(n) seçilirken, birleştirilmiş ölçekleme fonksiyonu, (Φ(x)) hem frekans hem uzay bölgesinde iyi yer belirleme özelliklerine sahip olmasına dikkat edilmelidir. Ayrık detay işaretleri, düşük seviyedeki yaklaşıkların, $\hat{g}(n)$ filtresiyle konvolüsyonundan elde edilen yüksek seviye yaklaşıklıklardan direk olarak elde edilebilir [7].

$$\langle f(u), \Psi_{m,n}(u) \rangle = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \tilde{g}(2n-k) \langle f(u), \phi_{m-1,k}(u) \rangle \tag{2.12}$$

$\hat{g}(n)$ g(n) nin ayna filtresidir, $\hat{g}(n) = g(-n)$ ve dikey wavelet ile ölçekleme fonksiyonunun içsel çarpımından elde edilir:

$$g(n) = \langle \psi_{-1}(u), \phi_0(u-n) \rangle \tag{2.13}$$

Yine gösterilebilir ki; g(n) ve h(n), dolayısıyla G(w) ve H(w) birbirine bir ilişkiyle bağlıdır:

$$G(w) = e^{-jw} \overline{H(w+\pi)} \tag{2.14}$$

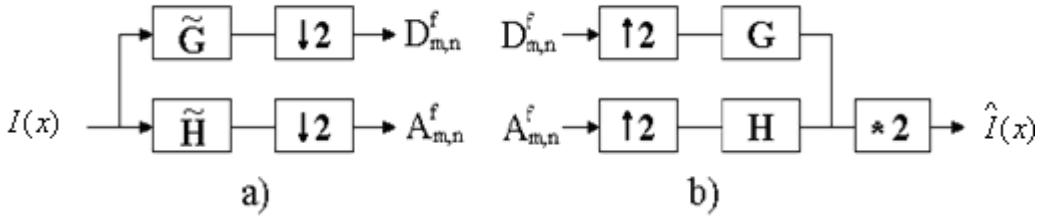
Bu denklem g(n) ve h(n) nin konjuge filtreler olduğunu gösterir. Eğer pratikte sıkça yapıldığı gibi H(w) alçak geçiren bir süzgeç olarak seçilirse, G(w) süzgeci otomatik olarak yüksek geçiren bir süzgeç olur [15].

(m-1) seviyesindeki yaklaşıklık, m seviyesindeki detay işaretinin ve yaklaşıklığın her örneğinin arasına sıfırlar yerleştirip, bunları h(n) ve g(n) ile süzgeçleyerek elde edilen işaretlerin bir toplamı olarak hesaplanabilir. Sonuç olarak; tekrarlanabilir bu algoritma sayesinde, en düşük seviyedeki yaklaşıklık, son seviyedeki yaklaşıklık ve detay işaretlerinden elde edilebilir [15].

$$\langle f(u), \phi_{m-1,n} \rangle = 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(2n-k) \langle f(u), \phi_{m,k}(u) \rangle + 2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} g(2n-k) \langle f(u), \Psi_{m,k}(u) \rangle \tag{2.15}$$

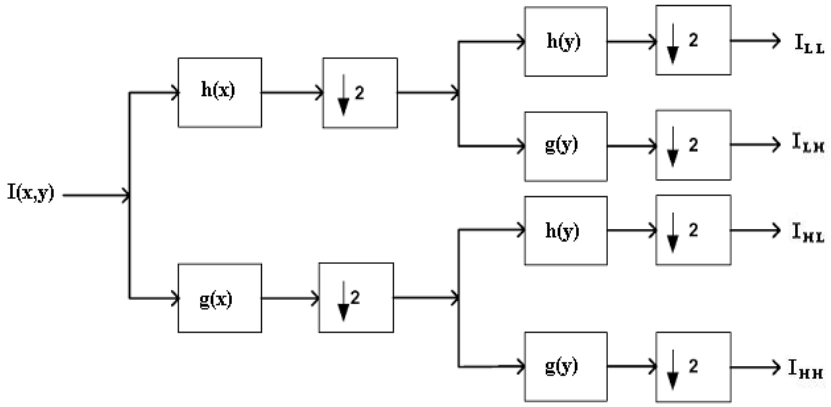
Wavelet çoklu çözünürlük gösteriminden orjinal işareti yeniden oluşturmak için tüm detay işaretleri kullanılana dek bu süreç uygulanmalıdır.

Ayrıştırma ve yeniden elde etme süreçleri, iki çift konjuge filtrenin bir kümesini temel alan wavelet çoklu çözünürlük dönüşümünün bir uygulamasıdır. Şekil 2.6 da süzgeçleri kullanan ayrıştırma ve yeniden elde etme süreçlerinin yapıları görülmektedir.

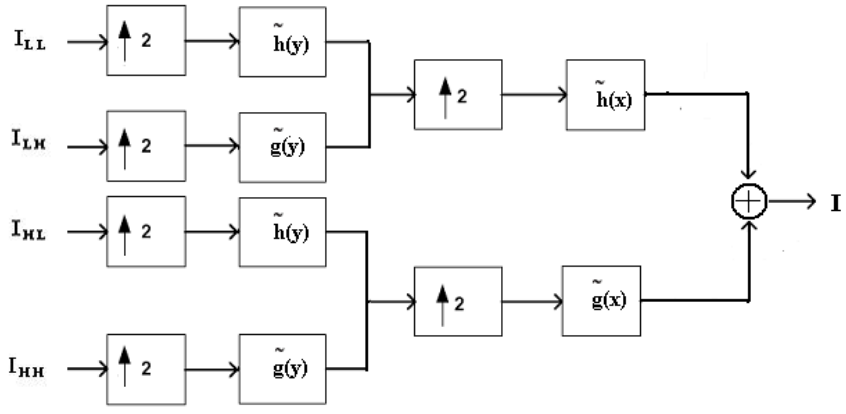


Şekil 2.6. Konjuge filtre çiftlerini kullanan basit wavelet yapıları a) sentez (ayrıştırma) ve b) analiz (yeniden yapılandırma).

İki boyutlu bir işaretin veya görüntünün wavelet dönüşümünü almak, yatay ve dikey yönde 1 boyutlu wavelet uygulamakla eşdeğerdir [15]. Görüntüye ilk olarak yatay yönde wavelet uygulanır ve sonuçta elde edilen alt bantların herbirine dikey yönde wavelet uygulanır (Şekil 2.7).



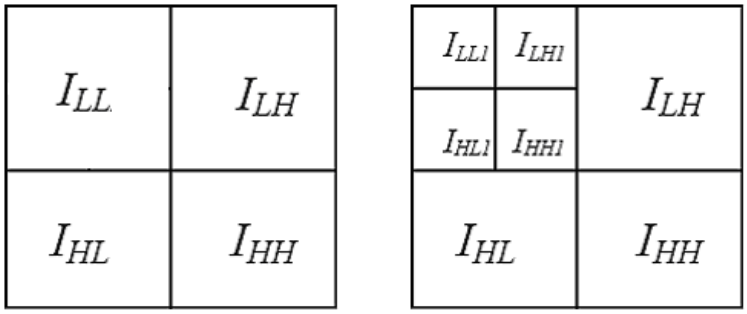
a) Analiz Yapısı (DWT dönüşümü)



b) Sentez Yapısı (Ters DWT dönüşümü)

Şekil 2.7. DWT ile 2 boyutlu altbantlara ayrıştırma ve geriye çatma yapıları **a)** analiz yapısı **b)** sentez yapısı

Dolayısıyla, görüntülerin wavelet dönüşümü sonucunda toplam 4 tane altbant oluşur; bu altbantların üçü detay biri ise yaklaşıklık altbandı olarak isimlendirilir. Detay altbantları, LH, HL ve HH olarak adlandırılırken, yaklaşıklık altbandı LL olarak adlandırılır (Şekil 2.7). LL, görüntünün hem satır hem sütununa alçak geçiren süzgeçleme yapılarak elde edilir. LH, görüntünün satırlarına alçak geçiren, sütunlarına yüksek geçiren süzgeç uygulanması ile elde edilirken, HL bunun tam tersi biçimde elde edilir. HH, görüntünün hem satır hem sütununa yüksek geçiren süzgeçleme yapılarak elde edilir. Görüntüye birden fazla düzeyde wavelet dönüşümü uygulanmak istenirse, LL banda uygulanır [3,4,16-18]. İki boyutlu görüntü ayrıştırma şeması Şekil 2.8 de verilmiştir.



(a) **(b)**

Şekil 2.8. İki boyutlu görüntü ayrıştırma şeması **(a)** Bir seviyeli görüntü ayrıştırma **(b)** İki seviyeli görüntü ayrıştırma

Wavelet tabanlı füzyon, alt örneklemeli (DWT) veya alt örneklemesiz (SWT) olarak yapılabildiği gibi, seçilecek dalga türüne göre çeşitlenir. Bu çalışmada Daubechies ve biortogonal dalgacık fonksiyonları kullanılmıştır [14-19].

2.2.2 Wavelet tabanlı füzyon sistemi

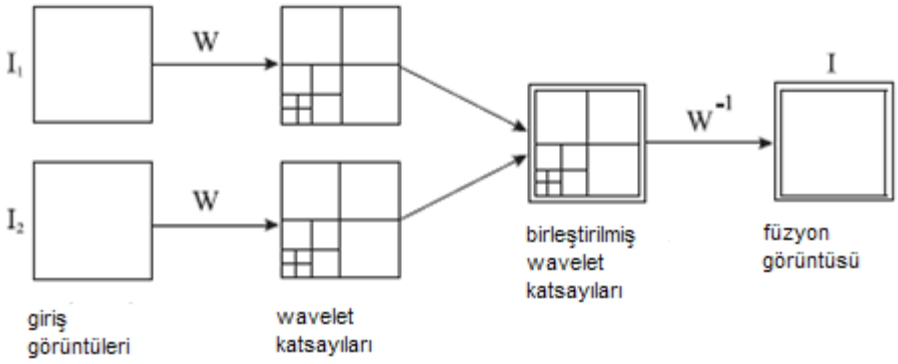
Wavelet tabanlı görüntü füzyonu giriş görüntülerinin en önemli özelliklerini seçerek ve onları bileşik görüntünün içine transfer ederek birleştirilmiş görüntünün içerisindeki bilgi miktarını arttırır. Özellik seçerken dikkat edilmesi gereken husus, görüntünün hem uzamsal hem spektral bileşenlerinin korunmasıdır.

En çok kullanılan görüntü füzyon tekniği olan wavelet tabanlı görüntü füzyonu (2.16) denkleminde ifade edilmiştir.

$$I(x,y) = w^{-1}(\Phi(w(A(x,y),B(x,y))) \quad \textbf{(2.16)}$$

olarak verilebilir. Burada A ve B giriş görüntülerini, w wavelet dönüşümünü, Φ ise füzyon kuralını temsil etmektedir [22].

Çoklu odaklı görüntüler için, LL bantların ortalamasını almak ve detay bantlarının ise mutlak değerce maksimumunu seçmek en ideal yöntem olarak belirlenmiştir [1,20,21]. Şekil 2.9 da gösterildiği gibi wavelet füzyon sistemleri diğer çoklu çözünürlük füzyon metotlarının yapısına benzemektedir.



Şekil 2.9. Wavelet tabanlı füzyon sistemi

Füzyon süreci, çoklu odaklı ve çoklu çözünürlük görüntüleri için farklı işler. Çoklu çözünürlüklü füzyon sürecinde, (MS-PAN görüntüleri) aşağıdaki adımlar takip edilir:

1. Adım: Giriş görüntüleri Dalgacık Dönüşümü ile altbandlarına ayrıştırılır(2.7-2.9). Ayrıştırılmış görüntüleri sembolize etmek gerekirse; $SP_{LL}^{j}, SP_{LH}^{j}, SP_{HL}^{j}, SP_{HH}^{j}$: SPOT görüntülerin j^{th} düzey LL, LH, HL and HH altbantları.

$PAN_{LL}^{j}, PAN_{LH}^{j}, PAN_{HL}^{j}, PAN_{HH}^{j}$: PAN görüntülerin j^{th} düzey LL, LH, HL and HH altbantları.

2. Adım: SPOT ve PAN görüntülerin altbantlarını birleştirme kuralı şu şekildedir:

$$\begin{aligned} F_{LL}^{j} &= PAN_{LL}^{j} \\ F_{LH}^{j} &= SP_{LH}^{j} \\ F_{HLL}^{j} &= SP_{HL}^{j}, \\ F_{HH}^{j} &= SP_{HH}^{j}, \end{aligned} \qquad \textbf{(2.17)}$$

Burada $F_{LL}^{j}, F_{LH}^{j}, F_{HL}^{j}, F_{HH}^{j}$, füzyon görüntüsünün j^{th} düzey LL, LH, HL ve HH altbantlarına karşı düşmektedir.

3. Adım: Oluşan yeni altbantlara ters dalgacık dönüşümü uygulanarak füzyon görüntüsü elde edilir (2.15).

4. Adım: Yukarıda ifade edilen 3 adım, MS görüntünün her bandı için ayrı ayrı uygulanır. Dolayısıyla 3 adet füzyon görüntüsü elde edilir. Bu görüntülerin her biri yeni görüntünün bantlarına karşı düşer.

2.3 DFT/RDFT Tabanlı Füzyon

Altbantlara ayrıştırma işlemi, üstüste binmeyen (nonoverlapping) "0" fazlı simetrik analiz ve sentez filtreleri kullanılarak, Ayrık Fourier Dönüşümü (DFT) veya Gerçek Ayrık Fourier Dönüşümü (RDFT) yardımıyla gerçeklenebilir [8]. Bir işaretin DFT si şu şekilde yazılabilir:

$$X[k]=\sum_{n=0}^{N-1}x[n]e^{-j2\pi nk/N} \qquad k=0,1,\cdots\cdots,N-1 \tag{2.18}$$

İşaret, ters DFT (IDFT) yardımıyla yeniden elde edilebilir (sentez).

$$x[n]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}X[k]e^{j2\pi nk/N} \qquad n=0,1,\cdots\cdots,N-1 \tag{2.19}$$

DFT kompleks sonuçlar üretmektedir. Giriş işaretinin gerçek olması halinde çok fazla gereksiz bilgiyi içerisinde barındıracağından işlem yükünü de arttıracaktır. Bu gereksiz bilgilerden kurtulmak için RDFT kullanılır [21,23,24].

Bir işaretin RDFT dönüşümü (2.20) de, ters dönüşümü ise (2.21) da ifade edilmiştir [23].

$$X[k]=2w[k]\sum_{n=0}^{N-1}x[n]\cos(2\pi nk/N+\theta[k]) \qquad k=0,1,\cdots\cdots,N-1 \tag{2.20}$$

$$x[n]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}X[k]\cos(2\pi nk/N+\theta[k]) \qquad k=0,1,\cdots\cdots,N-1 \tag{2.21}$$

Burada;

$$\theta[k]=\begin{cases}0 & , \quad 0 \le k \le N/2 \\ \pi/2 & , \quad N/2 < k \le N\end{cases}$$
$$w[k]=\begin{cases}1/2 & , \quad k=0 \quad V \quad k=N/2 \\ 1 & , \quad diger\end{cases} \qquad \textbf{(2.22)}$$

DFT/RDFT tabanlı füzyonu gerçeklemek için, tıpkı dalgacık dönüşümünde olduğu gibi, görüntüyü alçak (LP) ve yüksek (HP) geçiren altbantlarına ayırabilmek ve bu altbantlardan geriye dönebilmek gerekir [21].

2.3.1 DFT/RDFT ile altbantlara ayrıştırma (analiz)

x[n] işaretinin LP (alçak geçiren) altbandı $X_{LP}[k]$ olarak adlandırılır ve aşağıdaki biçimde ifade edilebilir [8].

$$X_{LP}[k]=\begin{cases}X[k] & , \quad 0 \le k \le K,\ N-K \le k < N \\ 0 & , \quad diger\end{cases} \qquad \textbf{(2.23)}$$

$$x_{LP}[n]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{LP}[k]e^{j2\pi nk/N} \qquad \textbf{(2.24)}$$

K=N/4 seçilerek, $x'_{LP}[n]$ altörneklenmiş işaret bulunur[8].

$$x'_{LP}[n]=x_{LP}[2n]=\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} X_{LP}[k]e^{j2\pi nk/(N/2)} \qquad \textbf{(2.25)}$$

HP (yüksek geçiren) altbandının nasıl bulunacağı ise aşağıda gösterilmiştir [8].

$$X_{HP}[k]=\begin{cases}X[k] & , \quad K < k < N-K \\ 0 & , \quad diger\end{cases} \qquad \textbf{(2.26)}$$

$x_{HP}[n]$ in IDFT sentezi şu şekilde verilir.

$$x_{HP}[n]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} X_{HP}[k]e^{j2\pi nk/N} \qquad \textbf{(2.27)}$$

Gerçek bir x[n] işareti için:

$$X_{HP}[k] = X'_{HP}[N-k] \tag{2.28}$$

$x'_{HP}[n]$ altörneklenmiş işareti:

$$x'_{HP}[n] = \frac{E^{j\pi n}}{N} \sum_{k}^{N/2} X_{LP}[k+K] e^{j2\pi nk/(N/2)} \tag{2.29}$$

Sonuç olarak $x'_{LP}[n]$ve $x'_{HP}[n]$, sırasıyla işaretin LP ve HP altbandlarına karşı düşmektedir [8].

2.3.2 DFT/RDFT ile altbantlardan orjinal işareti oluşturma (sentez)

Sentez bankasının oluşturulması birkaç adımda mümkündür. Bunlardan ilki alçak geçiren geriye çatma, diğeri ise yüksek geçiren geriye çatmadır.

Alçak geçiren geriye çatmada unutulmaması gereken nokta, $X'_{LP}[k]$ ile $X_{LP}[k]$nin birbirleriyle olan ilişkisidir [8] (2.30).

$$X'_{LP}[k] = \begin{cases} \frac{1}{2} X_{LP}[k] & , \quad 0 \le k < N/4 \\ \mathrm{Re}\{X_{LP}[k]\} & , \quad k = N/4 \\ \frac{1}{2} X_{LP}[N/2-k] & , \quad N/4 < k < N/2 \end{cases} \tag{2.30}$$

$X_{LP}[k]$ yı $X'_{LP}[k]$dan elde edebilmek için, $X_{LP}[N/4]$ ün sanal bölümüyle ilgili ilave bilgiye ihtiyaç duyulur. PR için en önemli nokta bu olur. Dolayısıyla altbant işaretin yeniden yapılandırılması maddeler halinde verilebilir[8].

1. Yüksek frekans bileşenleri (N/4 < k < 3N/4) “0” lar ile doldurulur.
2. Alçak frekans bileşenleri (0 ≤ k < N/4), (2.30) denklemi ve X_{LP}[N/4] ün sanal kısmı yardımıyla bulunur.

3. DFT için $3N/4 \le k < N$ için alçak frekans bileşenleri, $0 < k \le N/4$ için alçak frekans bileşenlerinin kompleks eşlenikleridir. RDFT de ise, bunlar otomatik olarak ayarlanmıştır.

4. $x_{LP}[n], X_{LP}[k]$ nın ters dönüşümüyle elde edilir.

Yüksek geçiren geriye çatma işleminde ise anahtar denklem (2.31) dir.

$$X'_{HP}[k] = \begin{cases} 0 & , \quad 0 \le k < N/4 \\ \frac{1}{2} X_{HP}[N/4 + k] & , \quad diger \end{cases} \qquad \textbf{(2.31)}$$

Yüksek geçiren işaretin yeniden yapılandırılması ise adım adım şu şekilde özetlenebilir [8].

1. Yüksek frekans spektral bileşenleri ($N/4 < k < 3N/4$) , (2.31) yardımıyla bulunur.

2. Alçak frekans spektral bileşenleri "0" a eşitlenir.

3. $x_{HP}[n], X_{HP}[k]$ nın ters dönüşümüyle elde edilir.

Yukarıda anlatılan altbantlara ayrıştırma ve yeniden yapılandırma süreçleri ideal durum içindir.

İdeal durum, ideal olmayana genişletilebilir. Bu genişletmede, analiz/sentez LP ve HP süzgeçleri örtüşmeyen ve sıfır fazlı süzgeçler olarak kabul edilmeye devam edilecektir. Bu süzgeçleri, ideal analiz süzgeçlerine, frekans domeninde noktasal çarpma kullanarak uygulamak mümkündür. Sentez bankasında interpolasyon yapılırken, ideal olmayan LP ve HP kullanıldığı için genliği dengelemek gerekir.

Tüm matrislerin tersinir oldukları kabul edilerek, altörneklemeden önceki analiz bankasında işaret şu şekilde ifade edilebilir:

$$x_{LP} = T^{-1} H_{LP} T x \qquad \textbf{(2.32)}$$

$$x_{HP} = T^{-1} H_{HP} T x \qquad \textbf{(2.33)}$$

Burada x, işaret vektörünü, T dönüşüm matrisini, H_{LP}, ideal olmayan LP süzgeç matrisini, H_{HP} ise ideal olmayan HP süzgeç matrisini ifade etmektedir [8].

Bir sonraki aşama olarak, işaretler analiz bankasında altörneklenir. H_{LP}, bir LP analiz süzgecidir ve $K < k \leq N/2$ için "0" a eşittir. H_{HP} ise, bir HP analiz süzgeci olup $k \leq K$ için "0" a eşittir.($K= N/4$). Bu özellik, analiz süzgeçlerinde üstüste binme olayını tamamen ortadan kaldırır. Sentez bankasında, interpolasyondan sonraki aşamada, H_{LP} ve H_{HP} nin tersi kullanılarak genlik dengelenir [8].

Alçak geçiren işaret için, $X'_{LP}[k]$ şu şekilde ifade edilir:

$$X'_{LP}[k] = \begin{cases} H_{LP}^{-1} T x_{LP} & , \quad 0 \leq k \leq N/4 \\ 0 & , \quad N/4 < k < 3N/4 \end{cases} \tag{2.34}$$

Alçak geçiren işaret, X'_{LP} nin ters dönüşümü aracılığıyla elde edilir.

Yüksek geçiren işaret için, sentez denklemi ise:

$$X'_{HP}[k] = \begin{cases} H_{HP}^{-1} T x_{HP} & , \quad N/4 < k \leq 3N/4 \\ 0 & , \quad k \leq N/4 \, , \, k > 3N/4 \end{cases} \tag{2.35}$$

Alçak geçirene benzer olarak yüksek geçiren işaret, X'_{HP} nin ters dönüşümü ile bulunur [8].

Yeniden yapılandırılmış orjinal işaret, alçak geçiren ve yüksek geçiren işaretlerin toplamına eşittir.

2.3.3 DFT/RDFT tabanlı füzyon yapısı

Diğer altbant ayrıştırma tekniklerinde olduğu gibi, önceki bölümde anlatılan altbantlara ayrıştırma işlemi, görüntü füzyonunda, birkaç ayrıştırma düzeyinden oluşan ağaç yapısı biçiminde kullanılır. Görüntülerin 2 boyutlu olduğu gerçeği göz önünde bulundurularak, diğer 2 boyutlu dönüşüm uygulamalarında olduğu gibi, 1 boyutlu altband ayrıştırma işlemleri, önce görüntünün satırlarına, sonra sütunlarına veya önce sütun sonra satırlara uygulanır [24].

Önerilen füzyon yöntemini aşamalar halinde vermek mümkündür [8].

1. Aşama: Giriş görüntüleri DFT/RDFT tabanlı altbant ayrıştırma tekniği (2.25,2.29) yardımıyla ayrıştırılır. Ayrıştırılmış görüntüleri sembolize etmek gerekirse; $SP_{LL}^{j}, SP_{LH}^{j}, SP_{HL}^{j}, SP_{HH}^{j}$: SPOT görüntülerin j^{th} düzey LL, LH, HL and HH altbantları.

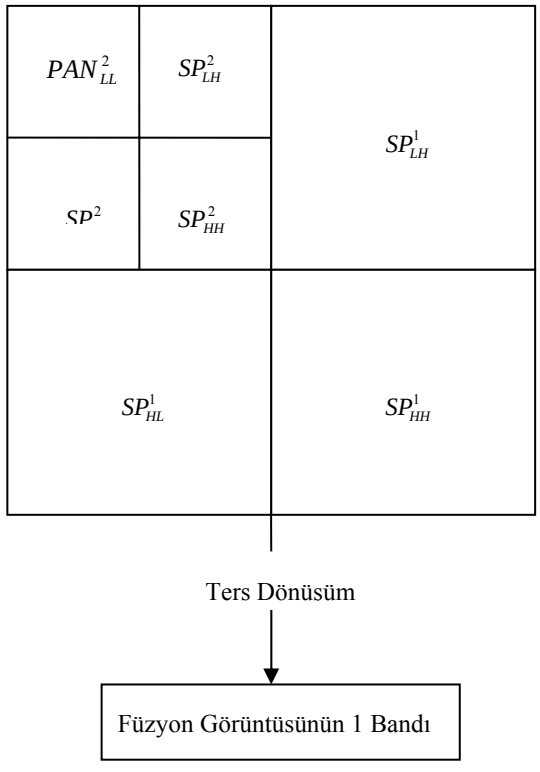
$PAN_{LL}^{j}, PAN_{LH}^{j}, PAN_{HL}^{j}, PAN_{HH}^{j}$: PAN görüntülerin j^{th} düzey LL, LH, HL and HH altbantları.

2. Aşama: SPOT ve PAN görüntülerin altbantlarını birleştirme kuralı (2.17) deki gibidir

Burada $F_{LL}^{j}, F_{LH}^{j}, F_{HL}^{j}, F_{HH}^{j}$, füzyon görüntüsünün j^{th} düzey LL, LH, HL ve HH altbantlarına karşı düşmektedir.

3. Aşama: Geriye çatma (2.34, 2.35) elde edilen yeni altbantlara uygulanır ve füzyon görüntüsü elde edilir.

DFT/RDFT tabanlı füzyon algoritması şematik olarak Şekil 2.10 da görülmektedir [8].



Şekil 2.10. DFT/RDFT tabanlı görüntü füzyonu şeması

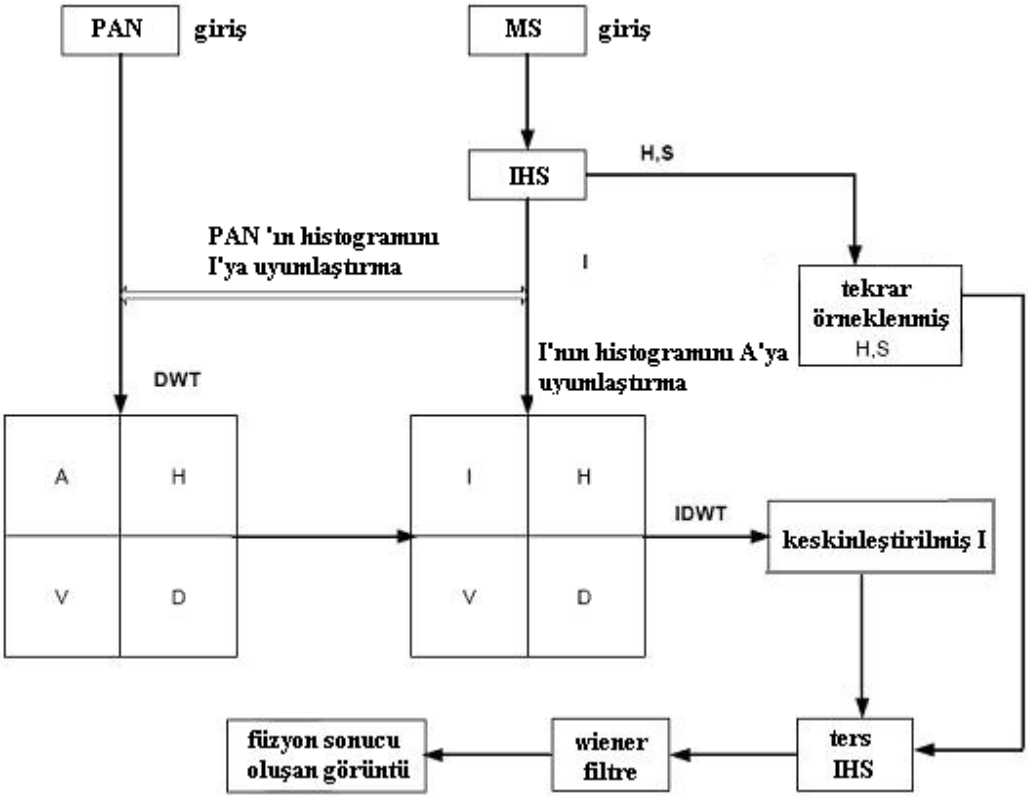
2.4 Tümleşik Wavelet-IHS Füzyon Yöntemleri

Daha önce ele alınan IHS ve Dalgacık dönüşümü tabanlı füzyon yöntemlerinin avantajlarından daha iyi yararlanmak ve tekniklerin eksikliklerini gidermek için tümleşik füzyon yöntemleri kullanılacaktır. Literatürde birçok Wavelet ve IHS tabanlı tümleşik füzyon yöntemleri önerilmiştir. Bu yaklaşımlardan ikisi bu çalışma dahilinde ele alınmıştır [25].

2.4.1 Wavelet-IHS yöntem (1)

Bu yöntemde önce çoklu spektral bantlar IHS domenine dönüştürülür. Pankromatik görüntünün parlaklık bileşeni ile histogramı uyumlaştırılır ve histogramı uyumlaştırılan pankromatik görüntü wavelet domeninde genişletilir. Parlaklık (I) bileşeninin histogramı, pankromatik görüntünün wavelet domenindeki düşük çözünürlüklü yaklaşıklığı ile uyumlaştırılır. Histogramı uyumlaştırılan I bileşeni düşük çözünürlüklü bileşen ile yer değiştirir. Yüksek frekans detaylarının parlaklık bileşenine eklendiği birleştirilmiş bir parlaklık bileşeni elde etmek için ters wavelet dönüşümü uygulanır. Ton ve doygunluk (hue, saturation) bileşenleri keskinleştirilmiş parlaklık bandının boyutları ile yeniden örneklenir. RGB domenindeki görüntüyü tekrar elde etmek için ters IHS dönüşümü uygulanır. Keskinleştirilmiş görüntüdeki gürültüyü yok etmek için her bir banda bir Wiener süzgeci uygulanır. Bu yaklaşıma ait akış diyagramı Şekil 2.11 de verilmiştir.

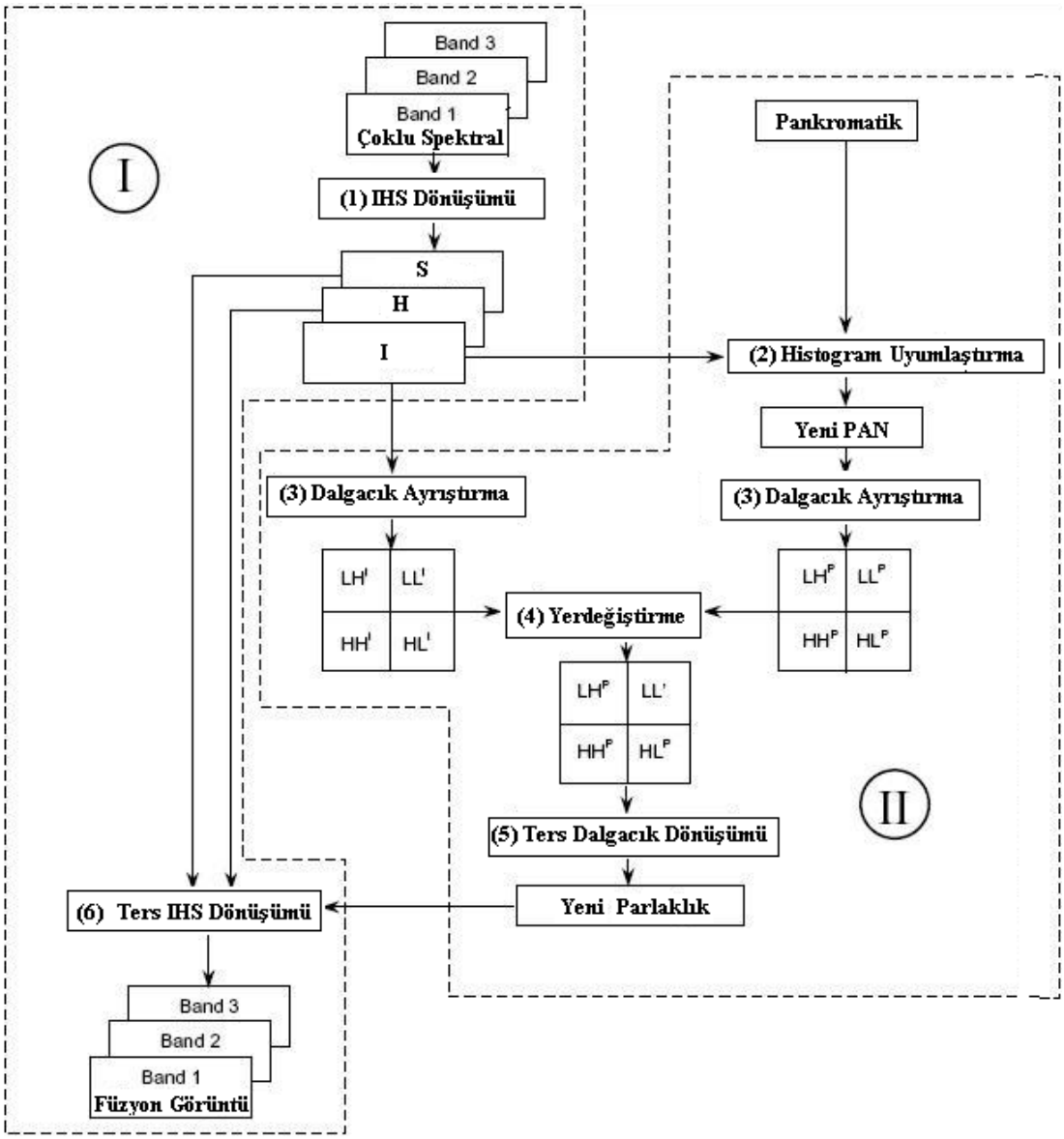
Wiener süzgeci keskinleştirilmiş verideki fazla kenarları ve ek gürültüyü yumuşatmak için kullanılır. Wiener süzgeci, ek gürültüyle bozulan resimleri filtrelemek için uygun bir süzgeçdir. Süzgeç performansı resmin varyansına bağlıdır. Yerel varyans yüksekse ufak bir yumuşatma uygular. Yerel varyans küçükse, süzgeç daha fazla yumuşatma uygular ve bu sayede yanlış kenarlar temizlenir. Wiener süzgeçleri, keskinleştirme işlemi sırasında ortaya çıkan ek gürültüyü yok etme konusunda çok etkilidirler. Bu süzgeç genellikle frekans domeninde uygulanır [25].



Şekil 2.11. Wavelet ve IHS tabanlı birinci yönteminin akış diyagramı

2.4.2 Wavelet-IHS yöntem (2)

Bu yöntem dahilinde genel olarak, düşük çözünürlüklü çoklu spektral renk bilgisi ile yüksek çözünürlüklü pankromatik uzamsal detay bilgilerini tümleştirmek üzere IHS dönüşümünü kullanılır. Böylece, renk ve uzamsal özniteliklerin düzgün bir şekilde bütünleştirilmesi sağlanır. Bunun yanı sıra, orjinal pankromatik görüntünün uzamsal detaylarını içeren ve parlaklık görüntüsü ile yüksek ilintiye sahip yeni bir pankromatik görüntü üretmek için dalgacık dönüşümünden yararlanılır. Bu yaklaşıma ait akış diyagramı Şekil 2.12 de verilmiştir.



Şekil 2.12. Wavelet ve IHS tabanlı ikinci yönteminin akış diyagramı

Şekil 2.12 de gösterildiği gibi, bu tümleşik füzyon yönteminin aşamaları aşağıda verilmiştir:

Aşama 1: Çoklu spektral görüntü, IHS bileşenlerine dönüştürülür (ileri IHS dönüşümü).

Aşama 2: Pankromatik görüntünün histogramını I bileşenine uyumlaştırmak için histogram uyumlaştırma işlemi gerçekleştirilir ve yeni bir PAN görüntü elde edilir.

Aşama 3: Yeni pankromatik görüntü ile I bileşenini sırasıyla iki seviye dalgacık domenine ayrıştırılır.

Aşama 4: I bileşeninin grilik değer bilgisini PAN görüntüye aktarmak için pankromatik ayrıştırmanın yaklaşıklık görüntüsü (LL_P), I bileşeninin LL_I görüntüsü ile yer değiştirilir. Parlaklık bilgisinin aşırı aktarımını önlemek için ikinci ayrıştırma seviyesindeki LL_P'nin bir kısmı aynı seviyedeki LL_I ile yer değiştirilir. Bu değiştirme işleminden önce LL_P ve LL_I'nın ağırlıklandırılmış bileşimi ile yeni bir yaklaşıklık görüntüsü (LL_0) elde edilir ve daha sonra pankromatik ayrıştırma sonucu elde edilen LL_P ile yerdeğiştirilir. Ağırlıklandırılmış bileşim için yöntem, eşitlik (2.30) ile ifade edilir.

Aşama 5: Parlaklık görüntüsü ile benzer gri değer dağılımına sahip yeni bir parlaklık görüntüsü elde etmek için ters dalgacık dönüşümü uygulanır.

Aşama 6: Yeni parlaklık (I) bileşenini ton ve doygunluk (H, S) bileşenleri ile tekrar RGB uzayına dönüştürülür (ters IHS dönüşümü).

c olarak gösterilen yeni yaklaşıklık görüntüsünü (LL_0) elde etmek için uygulanan yöntem,

$$c=w_1\times A+w_2\times B \tag{2.36}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, A ve B sırasıyla LL_I ve LL_P yaklaşıklık görüntülerine karşılık gelir. w_1 ve w_2 ise aşağıdaki şekilde belirlenen ilgili ağırlıklandırılmış katsayılardır:

$$w_1=\mathrm{Corr}\left(A/B\right) \tag{2.37}$$

$$\mathrm{Corr}\left(A/B\right)=\frac{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left(A_{i,j}-\overline{A}\right)\left(B_{i,j}-\overline{B}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left(A_{i,j}-\overline{A}\right)^2\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left(B_{i,j}-\overline{B}\right)^2}} \tag{2.38}$$

$$w_1+w_2=1 \tag{2.39}$$

Bu eşitlikte $\overline{A}$ ve $\overline{B}$, A ve B'nin ortalamasını, N ve M ise yaklaşıklık görüntülerinin boyutlarını ifade eder.

Önerilen bu yaklaşımda parlaklık görüntüsünün grilik değer bilgisi pankromatik görüntüye kısmen aktarılır. Böylece, orjinal parlaklık görüntüsü ile yüksek ilintili ve pankromatik görüntüden yeterli uzamsal detay içeren yeni bir parlaklık görüntüsü

elde edilir. Bu görüntü daha sonra IHS dönüşümünün parlaklık görüntüsünün yerini alır. Son olarak, pankromatik görüntünün uzamsal detayları çoklu spektral bandlara ters IHS dönüşümü yoluyla aktarılır.

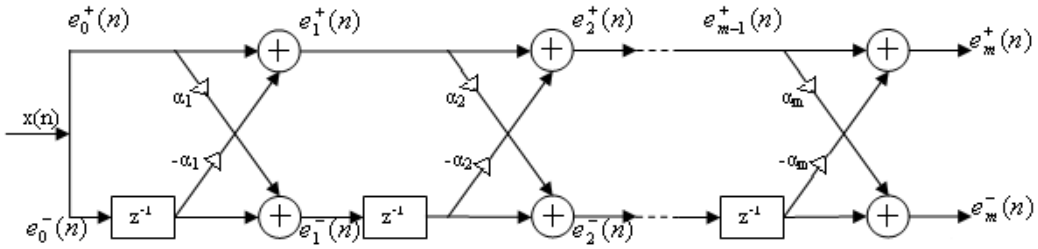
LL_P ve LL_I arasındaki w_1 katsayısı LL_I için ağırlık olarak kullanılır. w_2 katsayısı ise kısmi yer değiştirmenin dengesini kontrol etmek için LL_P görüntüsüne uygulanır. Dolayısıyla LL_P ve LL_I arasındaki ilinti yüksek ise yer değiştirme işleminde LL_I 'nın ağırlığı daha fazla olur. LL_P ve LL_I 'nin bu ağırlıklandırılmış bileşimi, değiştirilmiş pankromatik görüntünün parlaklık görüntüsü ile yüksek bir ilintiye sahip olacağını ve orjinal pankromatik görüntüden yeterli uzamsal detay içereceğini garanti eder.

3. GÖRÜNTÜ FÜZYONU İÇİN KAFES SÜZGEÇ YAPILARINA DAYALI YENİ YÖNTEM

Kafes süzgeçler, modülerlik, niceleme etkilerine (quantization effects) hassaslığının düşük olması ve kararlılığının basit bir testle tespit edilebilmesi gibi birçok önemli ve ilginç özelliğinden dolayı sayısal süzgeç gerçeklemesinde sıkça kullanılmaktadır. Kafes yapılı süzgeçler ile füzyon yapabilmek için, tasarlanacak yapının görüntüyü altbantlara ayırabilmesi ve bu bantlardan geriye tam olarak dönebilmesi (Perfect Reconstruction) gerekmektedir. PR (Perfect Reconstruction) koşulunu sağlayan yapılar, 1 boyutlu veya 2 boyutlu kafes yapıları ile elde edilebilir [9-12, 26-29].

3.1 Bir Boyutlu Kafes Süzgeç Yapısı

Kafes süzgeçler, kafes aşamalarının kaskat olarak bağlanmasıyla elde edilir. Her kafes aşaması bir kafes katsayısıyla ilişkilendirilir. Süzgeç bankası uygulamalarında, aşamaların iki girişi ile önceki aşamanın iki çıkışı arasında bağlantı yapılır [30]. Şekil 3.1 de 1 boyutlu kafes süzgeç örneği görülmektedir.



Şekil 3.1. 1 boyutlu Kafes Süzgeç Yapısı

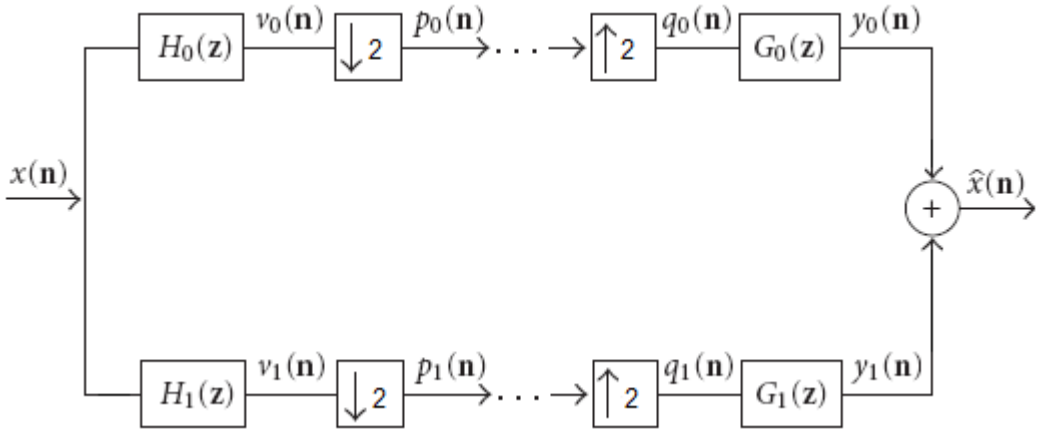
1 boyutlu kafes süzgecin denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\begin{bmatrix} e_{m+1}^+(n) \\ e_{m+1}^-(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\alpha_m \\ \alpha_m & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_m^+(n) \\ e_m^-(n-1) \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.1)}$$

Burada m. aşama için $e_m^+(n)$ ileri yön, $e_m^-(n)$ geri yön hatalarını, α_m ise m. düzey kafes katsayısını ifade etmektedir. Katsayıların hesaplanması için hataların karesinin minimize edilmesi gerekmektedir [10].

3.1.1 Bir boyutlu 2 kanallı QMF bankaları

1 boyutlu kafes yapısı incelendiğinde, altbandlara ayrıştırma ve geriye dönüşün yapılabilmesi için, yapı üzerinde yapılacak bir takım basit değişikliklerin yeterli olacağı açıkça görülmektedir. Şekil 3.1. de görülen yapı, 1 boyutlu 2 kanallı QMF lerle benzerlik göstermektedir. Tipik bir iki kanallı QMF yapısı Şekil 3.2. de verilmiştir.



Şekil 3.2. İki kanallı QMF bankası

[31,32] den de iyi bilindiği üzere, iki kanallı QMF bankalarının altbantlara ayırma işlemini gerçekleştirmesi ve altbandlardan geriye işaret yapısını bozmadan dönebilmesi için; ayrıştırma süzgeçleri ile, interpolasyon süzgeçleri arasında aşağıdaki ilişki bulunmalıdır.

$$G_0(z) = -H_1(-z) \qquad \textbf{(3.2a)}$$

$$G_1(z) = H_0(-z) \qquad \textbf{(3.2b)}$$

(3.2) deki koşullar sağlandıktan sonra, PR için son bir seçim yapmak gerekir. Bunlardan biri sonlu impuls cevaplı (FIR) parauniter çözümü yardımıyla bulunur [33].

$$H_1(z) = z^{-(N-1)} H_0(-z^{-1}) \qquad \textbf{(3.3)}$$

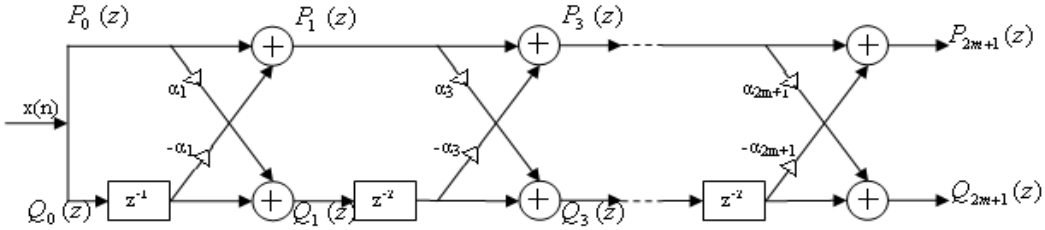
$\mathrm{H}_0(\mathrm{z})$ ve $\mathrm{H}_1(\mathrm{z})$ N-uzunluklu FIR süzgeçleridir.

$$H_0(z)H_0(z^{-1}) + H_1(z)H_1(z^{-1}) = c = sabit \qquad \textbf{(3.4)}$$

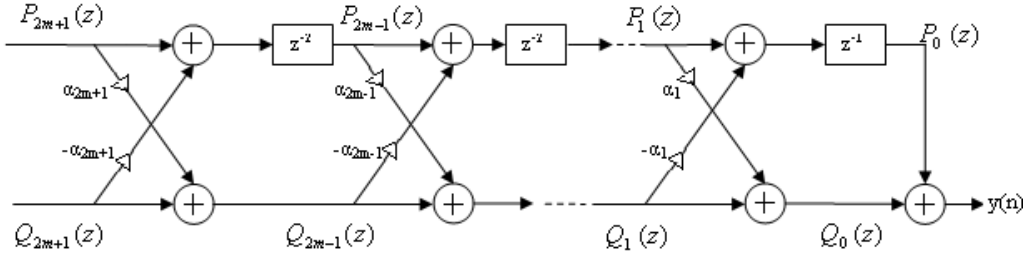
Sonuç olarak 1 boyutlu QMF bankalarının PR olabilmesi için gerek ve yeter koşullar (3.2) ve (3.4) denklemleridir.

3.1.2 Bir boyutlu PR kafes süzgeç yapısı

PR koşulunu sağlayan, 2 kanallı QMF bankası oluşturmak için bir kafes yapısı ve algoritması Vaidyanathan tarafından geliştirilmiştir [11]. Bu yapı Şekil 3.3 de gösterilmiştir. Algoritma, her analiz süzgeci için iyi durdurma bandı sönümlemesini garanti ettiğinden, bu yapı PR özelliğini de garanti etmiş olur. Kafes yapının hiyerarşiklik özelliğinden ötürü, yüksek aşamalı bir PR yapısı, daha düşük aşamalı olanından, kafes aşamaları ilave edilerek kolaylıkla, elde edilebilir.



a) Analiz filtre yapısı (Alt bantlara ayrıştırma)



b) Sentez filtre yapısı (Altbantlardan orjinal görüntüyü elde etme)

Şekil 3.3. 1 Boyutlu QMF Kafes Yapısı **a)** analiz **b)** sentez

İki kanallı yapının PR olması için iki süzgecin birbirinin aynası olması gerekir. Bunu sağlamak için aşağıdaki koşulu sağlaması gerekir [11].

$$\alpha_{2m} = 0 \ , \quad m > 0 \tag{3.5}$$

Giriş çıkış ilişkileri:

1. aşama için:

$$\begin{bmatrix} P_1(z) \\ Q_1(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\alpha_1 \\ \alpha_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0(z) \\ z^{-1}Q_1(z) \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

Diğer aşamalar için:

$$\begin{bmatrix} P_{2m+1}(z) \\ Q_{2m+1}(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\alpha_{2m+1} \\ \alpha_{2m+1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{2m-1}(z) \\ z^{-2}Q_{2m-1}(z) \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.7)}$$

şeklinde verilir [11]. Bu denklemler yardımıyla, QMF kafes yapısının, 2 kanallı PR süzgeç koşullarını sağladığı açıkça görülür.

$$Q_{2m+1}(z) = z^{-(2m+1)} P_{2m+1}(-z^{-1}) \quad \textbf{(3.8)}$$

$$P_{2m+1}(z)P_{2m+1}(z^{-1}) + Q_{2m+1}(z)Q_{2m+1}(z^{-1}) = sabit \quad \textbf{(3.9)}$$

3.2 İki Boyutlu 3 Parametreli Kafes Süzgeçler (3PLF)

Kafes süzgeç yapısı içerisinde yer alan, 2 boyutlu çeyrek düzlemde 4 öngörü hatası tanımlanmıştır [34]. Bu filtre her aşamada 3 adet yansıma katsayısına sahiptir ve giriş verisinin 4 çeyrek (quadrant) simetriye sahip olduğu kabul edilerek genişler. 4 tane öngörü hatası alanı oluşturan 3PLF yapısı [34], aşağıdaki yinelemeli giriş çıkış eşitliğiyle ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} e_{00}^{(m+1)}(n_1,n_2) \\ e_{10}^{(m+1)}(n_1,n_2) \\ e_{11}^{(m+1)}(n_1,n_2) \\ e_{01}^{(m+1)}(n_1,n_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -k_1^{(m+1)} & -k_2^{(m+1)} & -k_3^{(m+1)} \\ k_1^{(m+1)} & 1 & -k_3^{(m+1)} & k_2^{(m+1)} \\ -k_2^{(m+1)} & k_3^{(m+1)} & 1 & k_1^{(m+1)} \\ k_3^{(m+1)} & k_2^{(m+1)} & -k_1^{(m+1)} & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} e_{00}^{(m)}(n_1,n_2) \\ e_{10}^{(m)}(n_1-1,n_2) \\ e_{11}^{(m)}(n_1-1,n_2-1) \\ e_{01}^{(m)}(n_1,n_2-1) \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.10)}$$

Bu denklemde, (m) = (m_1,m_2), $(m+1)$ = (m_1+1,m_2+1) ve $n_1 = 1,\ldots,N_1$, $n_2 = 1,\ldots,N_2$, $m = 1,\ldots,M-1$ olmak üzere, $k_j^{(m+1)}$ler, (m+1). aşamanın kafes yansıma katsayılarıdır. M süzgecin uzunluğunu ifade eder. Başlangıç koşulları ise şu şekildedir:

$$e_{00}^{0}(n_1,n_2) = e_{10}^{0}(n_1,n_2) = e_{11}^{0}(n_1,n_2) = e_{01}^{0}(n_1,n_2) = x(n_1,n_2) \quad \textbf{(3.11)}$$

$e_{00}^{(m)}(n_1,n_2)$, $e_{10}^{(m)}(n_1,n_2)$, $e_{11}^{(m)}(n_1,n_2)$, ve $e_{01}^{(m)}(n_1,n_2)$ hata alanları, sırasıyla *m.* kafes aşamasının çıkışının 1., 2., 3. ve 4. çeyrek düzlem öngörü hatasına karşı düşer.

$x(n_1,n_2)$ 2 boyutlu giriş verisinin ifadesidir. 3PLF yapıda; her aşamada, öngörü hata alanlarının karesinin ortalaması, yansıma katsayılarına göre minimize edilir

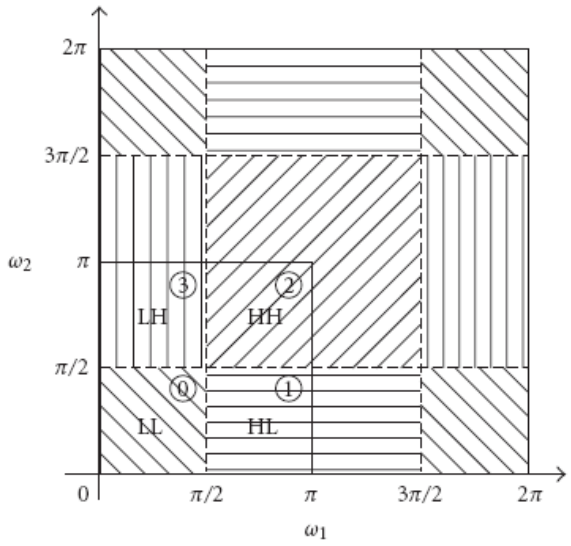
3PLF yapısı dik değildir [29]. [27] de gösterilmiştir ki; diklik koşulunu sağlayan pek çok 3PLF tasarlanabilir.

3.2.1 Dikgen kafes süzgeç yapısı

İlk olarak, 3PLF yapı, çoklufazlı ayrıştırma tekniği kullanarak değiştirilip 2 boyutlu ortogonal kafes süzgeç yapısı türetilir [12].

Klasik 4 kanallı süzgeç bankası, spektrumu 4 altbanda böler ve bu altbandlardan tam olarak geri dönülmesini sağlayacak şekilde oluşturulur. 2 boyutlu 4 kanallı PR özelliğine sahip süzgecin içerisine 2 boyutlu kafes süzgeç yaklaşımını sokmaktaki amaç, 4 analiz altbant süzgecini kafes formatındaki tek bir yapı içerisinde birleştirmek ve yüksek aşamalı süzgeç bankalarını, kafes yapılarının hiyerarşiklik özelliğinden yararlanarak kolaylıkla elde etmektir .Aynı şekilde, 4 sentez filtresi de tek bir kafes süzgeçte birleştirilir. PR süzgeç bankasının analiz bölümü 2 boyutlu dikgen kafes süzgeçle gerçeklenmiştir. 2 boyutlu ortogonal kafes yapısı olan sentez bölümü ise PR koşullarına göre türetilmiştir [12].

3PLF yapısının kullanılmasının sebebi ise 3 parametrenin yanında 4 öngörü hata alanı içermesidir. Bu hata alanları üzerinde yapılacak uygun değişikliklerle, her hata alanı 4 kanallı süzgeç bankasının altbandına denk gelecek şekilde ayarlanabilir [12]. Şekil 3.4 de, 4 bantlı frekans kesitleri gösterilmiştir. Şekildeki 0,1,2 ve 3 sırasıyla LL, HL, HH ve HL altbantlara karşı düşer. Transfer fonksiyonları bu 4 altbandı oluşturmak üzere ayarlanan 3PLF, 4 süzgece ayrılabilir. Basitçe bu süzgeçlerden biri kafes parametreleri cinsinden ifade edildiği takdirde, diğer süzgeçler uygun gecikmeler yardımıyla bu süzgeçten türetilebilir. Şekil 3.4 de olduğu gibi ideal 4 kanallı süzgeçler olan, $H_0(z), H_1(z), H_2(z), H_3(z)$, karşılıklı sınırlarında ayna simetrisine sahiptirler (3.12).



Şekil 3.4. 2 boyutlu spektrumun 4 bant kesidi

$$H_1(z_1,z_2) = z_1^{-1} H_0(-z_1^{-1}, z_2)$$

$$H_2(z_1,z_2) = z_1^{-1} z_2^{-1} H_0(-z_1^{-1}, -z_2^{-1}) \qquad \textbf{(3.12)}$$

$$H_3(z_1,z_2) = z_2^{-1} H_0(z_1, -z_2^{-1})$$

0. aşama bir süzgeçten başlayarak $X(z_1,z_2)$ işaretinden 4 alan şu şekilde elde edilir.

$$X_0^0(z_1,z_2) = X_1^0(z_1,z_2) = X_2^0(z_1,z_2) = X_3^0(z_1,z_2) = X(z_1,z_2) \qquad \textbf{(3.13)}$$

Buradaki alt indisler aşamayı gösterir. $H_0(z_1,z_2)$, (3.10) da ileriyön öngörü hatasının transfer fonksiyonundan yararlanılarak, kafes parametreleri cinsinden ifade edilebilir.

$$H_0^{(1)}(z_1,z_2) = 1 - k_1^{(1)} z_1^{-1} - k_2^{(1)} z_1^{-1} z_2^{-1} - k_3^{(1)} z_2^{-1} \qquad \textbf{(3.14)}$$

Diğer süzgeçlerde benzer şekilde ifade edildikten sonra, analiz kafes süzgecinin giriş-çıkış ilişkisi şu şekilde bulunur [12].

$$\begin{bmatrix} X_0^{(m+1)}(z_1,z_2) \\ X_1^{(m+1)}(z_1,z_2) \\ X_2^{(m+1)}(z_1,z_2) \\ X_3^{(m+1)}(z_1,z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -k_1^{(m+1)} & -k_2^{(m+1)} & -k_3^{(m+1)} \\ k_1^{(m+1)} & 1 & -k_3^{(m+1)} & k_2^{(m+1)} \\ -k_2^{(m+1)} & k_3^{(m+1)} & 1 & k_1^{(m+1)} \\ k_3^{(m+1)} & k_2^{(m+1)} & -k_1^{(m+1)} & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} X_0^{(m)}(z_1,z_2) \\ z_1^{-1} X_1^{(m)}(z_1,z_2) \\ z_1^{-1} z_2^{-1} X_2^{(m)}(z_1,z_2) \\ z_2^{-1} X_3^{(m)}(z_1,z_2) \end{bmatrix}. \qquad \textbf{(3.15)}$$

$m = 0,1, \ \ldots \ , M-1$. (3.15) eşitliği aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$X^{(m+1)}(z_1, z_2) = H^{(m+1)} Z X^{(m)}(z_1, z_2) \qquad \textbf{(3.16)}$$

Burada, $Z = diag(1, z_1^{-1}, z_1^{-1} z_2^{-1}, z_2^{-1})$ gecikme matrisinin ifadesidir. Buradaki $H^{(m+1)} Z = H^{(m+1)}(z_1, z_2)$ analiz süzgecinin transfer matrisi olarak adlandırılır. $\hat{H}(z_1, z_2)$, (m+1) adet transfer fonksiyonun çarpımı olarak ($\hat{H}(z_1, z_2) = \left[H^{(m+1)}(z_1, z_2)\right]\left[H^{(m)}(z_1, z_2)\right]\cdots\left[H^{(1)}(z_1, z_2)\right]$) genişletilirse, kompleks yapının giriş çıkış ilişkisi şöyle olur [12]:

$$X^{(m+1)}(z_1, z_2) = \hat{H}(z_1, z_2) X^{(0)}(z_1, z_2) \qquad \textbf{(3.17)}$$

$\hat{H}(z_1, z_2)$ ile ifade edilen analiz süzgeç yapısının tamamına karşı düşer. (3.17) de ifade edilen kafes yapısı ayrışmayandır ve sentez filtresi PR koşullarına göre belirlenmelidir. PR sorununu çözmek adına önerilen birçok yöntem vardır, ancak en uygun olanı, hesaplama karmaşıklığını azaltan 2 boyutlu çoklufazlı gösterimidir [35]. Çoklufazlı gösterime göre belirlenen PR koşulu aşağıda verilmiştir[12]:

$$H^{(i)} H^{(i)^T} = I \qquad \textbf{(3.18)}$$

Burada (i), kafes aşamasını göstermektedir. Denklem kafes süzgeç katsayıları cinsinden yeniden yazılabilir [12].

$$H^{(i)} H^{(i)^T} = \begin{bmatrix} 1+k_1^2+k_2^2+k_3^2 & 0 & -2k_2-2k_1k_3 & 0 \\ 0 & 1+k_1^2+k_2^2+k_3^2 & 0 & 2k_2+2k_1k_3 \\ -2k_2-2k_1k_3 & 0 & 1+k_1^2+k_2^2+k_3^2 & 0 \\ 0 & 2k_2+2k_1k_3 & 0 & 1+k_1^2+k_2^2+k_3^2 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.19)}$$

Burada $k_j = k_j^{(i)}$, $j = 1,2,3$.

(3.22) denklemi, PR özelliğinin sağlanabilmesi için kafes katsayılarına aşağıdaki kısıtlama getirilir [12].

$$k_2^{(i)} = -k_1^{(i)} k_3^{(i)} \qquad \textbf{(3.20)}$$

PR koşulunu tam olarak sağlaması için (3.21) ile birlikte, i. aşamadaki parametrelerin bir normalizasyon faktörüne bölünmesi gerekir($\delta^{(i)} = \sqrt{1+(k_1^{(i)})^2+(k_{21}^{(i)})^2+(k_3^{(i)})^2}$).

Sonuç olarak, analiz transfer fonksiyonu için PR koşulu (3.23) deki kısıtlama ve normalizasyon faktörü yardımı ile sağlanır ve önerilen ortogonal kafes süzgeç yapısı PR koşulunu sağlamış olacaktır [12].

Bu koşullar altında sentez süzgecinin (m+1). aşama için transfer fonksiyonu şu şekilde yazılabilir [12].

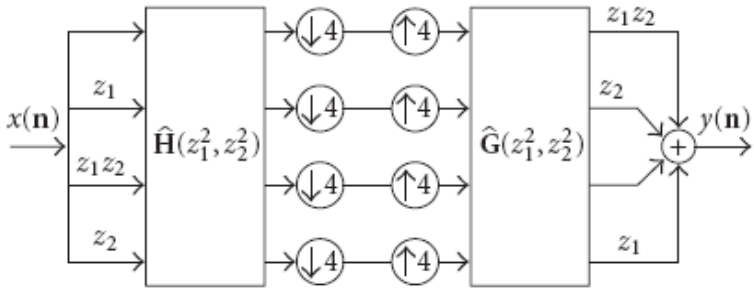
$$G^{(m+1)}(z_1,z_2)=\begin{bmatrix} z_1^{-1}z_2^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_2^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_1^{-1} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & k_1^{(m+1)} & -k_2^{(m+1)} & k_3^{(m+1)} \\ -k_1^{(m+1)} & 1 & k_3^{(m+1)} & k_2^{(m+1)} \\ -k_2^{(m+1)} & -k_3^{(m+1)} & 1 & -k_1^{(m+1)} \\ -k_3^{(m+1)} & k_2^{(m+1)} & k_1^{(m+1)} & 1 \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.21)}$$

Sentez kafes süzgecinin giriş çıkış ilişkisi ise şu şekilde yazılabilir:

$$Y^{(0)}(z_1,z_2)=\hat{G}(z_1,z_2)Y^{(m+1)}(z_1,z_2) \quad \textbf{(3.22)}$$

Sentez kafes süzgeç yapısının tamamı, $\hat{G}(z_1,z_2)$ transfer fonksiyonu ile tanımlanır.

3.2.2 Dikgen kafes süzgeç yapısıyla gerçeklenmiş NSPRL süzgeç bankası



Şekil 3.5. NSPRL için çoklu fazlı gösterim

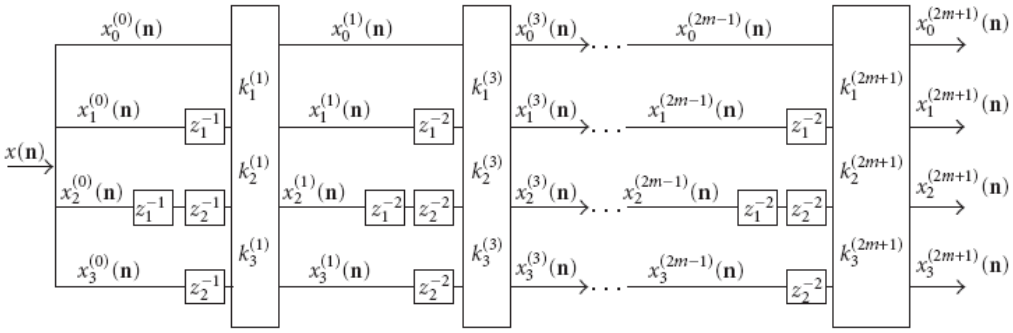
Şekil 3.5 de, NSPRL için modifiye edilmiş bir çoklufazlı gösterim görülmektedir [35]. Kafes analiz ve sentez süzgeçleri yukarıdaki Şekil 3.5 e göre yeniden oluşturulur [12].

Oluşturulan yeni kafes süzgeç yapısında, ilk aşama haricindeki kafes aşamaları, gecikme operatörlerinin karelerini içerir ve ilki "0" kafes parametrelerine sahip olan aşama çiftleri olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla; NSPRL yapısı, tek sayılı aşamalardan oluşur ve "aşama" kelimesi kafes süzgeç yapısının son aşamasına kadar olan toplam gecikme sayısını ifade eder.

Analiz süzgecinin ilk ve tek sayılı aşamaların giriş çıkış ilişkisi şu şekildedir [12]:

$$\begin{bmatrix} X_0^{(p)}(z_1,z_2) \\ X_1^{(p)}(z_1,z_2) \\ X_2^{(p)}(z_1,z_2) \\ X_3^{(p)}(z_1,z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -k_1^{(p)} & -k_2^{(p)} & -k_3^{(p)} \\ k_1^{(p)} & 1 & -k_3^{(p)} & k_2^{(p)} \\ -k_2^{(p)} & k_3^{(p)} & 1 & k_1^{(p)} \\ k_3^{(p)} & k_2^{(p)} & -k_1^{(p)} & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} X_0^{(r)}(z_1,z_2) \\ z_1^{-q} X_1^{(r)}(z_1,z_2) \\ z_1^{-q} z_2^{-q} X_2^{(r)}(z_1,z_2) \\ z_2^{-q} X_3^{(r)}(z_1,z_2) \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.23)}$$

(3.23) de, ilk aşama için p=1, q=1 ve r=0, tek sayılı aşamalar için p=(2m+1), q=2 ve r=(2m-1) m=(1,2,.....,M) olmak üzere. $k_2^{(p)} = -k_1^{(p)} k_3^{(p)}$ kısıtlaması, dikliği sağlamak içindir. Analiz kafes yapısı Şekil 3.6 da gösterilmiştir.

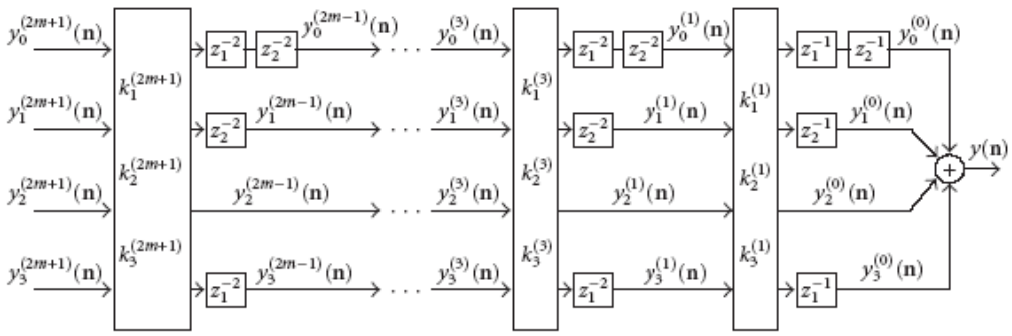


Şekil 3.6. NSPRL süzgeç bankasının analiz bölümü

Sentez süzgecinin ilk ve tek sayılı aşamalar için giriş çıkış ilişkisi aşağıdaki gibi bulunur [12]:

$$\begin{bmatrix} Y_0^{(r)}(z_1,z_2) \\ Y_1^{(r)}(z_1,z_2) \\ Y_2^{(r)}(z_1,z_2) \\ Y_3^{(r)}(z_1,z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1^{-q} z_2^{-q} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_2^{-q} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_1^{-q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & k_1^{(p)} & -k_2^{(p)} & k_3^{(p)} \\ -k_1^{(p)} & 1 & k_3^{(p)} & k_2^{(p)} \\ -k_2^{(p)} & -k_3^{(p)} & 1 & -k_1^{(p)} \\ -k_3^{(p)} & k_2^{(p)} & k_1^{(p)} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_0^{(p)}(z_1,z_2) \\ Y_1^{(p)}(z_1,z_2) \\ Y_2^{(p)}(z_1,z_2) \\ Y_3^{(p)}(z_1,z_2) \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.24)}$$

(3.24) de tek sayılı aşamalar için, r=(2m-1), q=2 ve p=(2m+1) m=(M, ... ,2,1) için ve ilk aşama için r=0, q=1 ve p=1. $k_2^{(p)} = -k_1^{(p)} k_3^{(p)}$ kısıtı verilmiştir. Sentez kafes süzgeç yapısı Şekil 3.7 de verilmiştir. Burada y(n), orjinal x(n) işaretinin kestirimi olan $\hat{x}(n)$ dir.



Şekil 3.7. NSPRL süzgeç bankasının sentez bölümü

3.3 Önerilen Füzyon Yöntemleri

Diğer çokluçözünürlük füzyon metodlarında olduğu gibi, kafes süzgeç yapıları ile füzyonda da, önce giriş görüntüleri altbantlarına ayrılır. Oluşan altbandlar, belirli bir füzyon algoritması aracılığıyla birleştirilir ve elde edilen yeni altbantlardan geriye dönülerek füzyon görüntüsü elde edilir.

3.3.1 Kafes süzgeç yapıları ile altbandlara ayrıştırma yöntemleri

Kafes süzgeç yapıları ile altbandlara ayırma işlemi üç farklı yöntemle gerçeklenebilir.

3.3.1.1 Yöntem I

1 boyutlu kafes yapılarıyla analiz ve sentez süzgeç yapıları belirlendikten sonraki adım, optimizasyon algoritması kullanarak kafes katsayılarının belirlenmesidir. Burada kullanılan algoritma; 1 boyutlu frekans domeninde, belirli durdurma bandı kesim frekanslarında, durdurma bandı enerjisini minimize etmektir [11].

$$\phi = \int_{w_s}^{\pi} \left| P'_{2m+1}(e^{jw}) \right|^2 dw \qquad \textbf{(3.25)}$$

w_s, $P'_{2m+1}(e^{jw})$ in arzu edilen kesim frekansıdır. Hedef fonksiyon, $P'_{2m+1}(e^{jw})$ in durdurma bandı enerjisidir. Alçak geçiren çıkışlar (P) ile, yüksek geçiren çıkışlar (Q) birbirlerinin aynası olduğundan biri için bulunacak sonuçlar diğeri için de geçerli olacaktır. Sonuç olarak; hedef fonksiyonunu minimize eden katsayılar, (P) ve (Q) nun iyi birer alçak ve yüksek geçiren süzgeçler olmalarını sağlayacaktır.

[11] de 0.78 π kesim frekansı için yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen katsayılar Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. 0.78 π kesim frekansında elde edilen Kafes katsayıları

α_1	-2.6380
α_3	0.7154
α_5	-0.2598
α_7	0.00639

Bir boyutlu kafes yapısı görüntünün önce satırlarına sonra sütunlarına veya önce sütun sonra satırlarına uygulanır.

3.3.1.2 Yöntem II

2 boyutlu analiz ve sentez süzgeç yapıları belirlendikten sonraki adım, optimizasyon algoritması kullanarak kafes katsayılarının belirlenmesidir. Burada geliştirilen optimizasyon algoritması; 2 boyutlu frekans domeninde, belirlenen durdurma bandı kesim frekanslarında, durdurma bandı enerjisini minimize etmelidir. Analiz kafes süzgeci her aşama için 4 filtreyi içeriyor olduğu halde, bu süzgeçler birbirinin simetriği olması sebebiyle, sadece birini gözönüne almak yeterli olacaktır [12].

Durdurma bandı enerjisini belirlemek için 4 altbant süzgecinden herhangi birisinin frekans cevabı kullanılabilir. H_0(m+1)i LL süzgeç olarak alırsak, hedef fonksiyon, Şekil 3.5 de gösterilen 0. bölgenin dışındaki enerji olacaktır.

$$\Phi^{(2m+1)} = \iint_{(w_1,w_2)\in R_1^{'}} \left| H_0^{(2m+1)}(e^{jw1}, e^{jw2}) \right|^2 dw_1 dw_2 \qquad \textbf{(3.26)}$$

Burada $R_0^{'} = \{0 \le (w_1, w_2) \le \pi, (w_1, w_2) \notin R_0\}$ dır. Şekil 2.19 da gösterilen 4 altbant bölgesi, genellikle ideal altbantlara ayrıştırma sistemleri için kullanılır. Örneğin 0. bölge, $[0 \to \pi/2, 0 \to \pi/2]$frekans spektrumunu kaplamaktadır. Ancak, arzu edilen frekans özelliklerine göre, durdurma bandı kesim frekanslarını $[0 \to \pi/2 \pm \varepsilon_1, 0 \to \pi/2 \pm \varepsilon_2]$ şeklinde değiştirmek mümkündür [12].

(3.23) denklemininden yararlanarak, (3.26) daki (2m+1). aşama süzgecin transfer fonksiyonunu (2m-1). aşama süzgeç cinsinden yazılabilir.

İlk aşama için;

$$H_0^{(1)}(e^{jw_1},e^{jw_2}) = \frac{1}{\delta^{(1)}}\left[1 - k_1^{(1)}e^{-jw_1} - k_2^{(1)}e^{-jw_1}e^{-jw_2} - k_3^{(1)}e^{-jw_2}\right] \quad \textbf{(3.27)}$$

Başlangıç koşulları (3.28) denklemiyle verilir.

$$H_0^{(0)}(e^{jw_1},e^{jw_2}) = H_1^{(0)}(e^{jw_1},e^{jw_2}) = H_2^{(0)}(e^{jw_1},e^{jw_2}) = H_3^{(0)}(e^{jw_1},e^{jw_2}) = 1 \quad \textbf{(3.28)}$$

Tek sayılı aşamalar için;

$$\begin{aligned} H_0^{(2m+1)}(e^{jw1},e^{jw2}) = \frac{1}{\delta^{(2m+1)}}\Big[&H_0^{(2m-1)}(e^{jw1},e^{jw2}) - k_1^{(2m-1)}e^{-j2w1}H_1^{(2m-1)}(e^{jw1},e^{jw2}) \\ &- k_2^{(2m-1)}e^{-j2w1}e^{-j2w2}H_2^{(2m-1)}(e^{jw1},e^{jw2}) - k_3^{(2m-1)}e^{-j2w2}H_3^{(2m-1)}(e^{jw1},e^{jw2}) \end{aligned} \quad \textbf{(3.29)}$$

Burada (m=1,2,...,M) ve $\delta^{(2m+1)}$, daha önce tanımlanan normalizasyon katsayısıdır [12].

Buradaki H_0, LL altbandı, H_1, HL altbandı, H_2, HH altbandı ve H_3, LH altbandı temsil etmektedir.

Kafes katsayıları, hedef fonksiyonun gradyantını kafes katsayılarına göre 0 a eşitlemek yoluyla hesaplanabilir.

Hedef fonksiyonu minimize eden kafes katsayıları PR koşulunu sağlayacak olan katsayılardır.

Şekil A.1, Şekil A.2 ve Şekil A.3 de, belirli durdurma bandı frekansları için elde edilen süzgeçlerin frekans cevapları çizilmiştir. Her üç şekilde; ilk satırlar, 1. aşama süzgeçleri, ikinci satırlar 3. aşama süzgeçleri, üçüncü satırlar 5. aşama süzgeçleri, dördüncü satırlar 7. aşama süzgeçleri ve beşinci satırlar 9. aşama süzgeçleri; ilk sütunlar H_0, iknci sütunlar H_1, üçüncü sütunlar H_2 ve dördüncü sütunlar H_3 frekans cevaplarını temsil etmektedir.

Optimizasyon sonucunda elde edilen katsayılar Tablo 3.2. de verilmiştir.

Tablo 3.2. Hesaplanan Kafes Katsayıları

Kesim Frekansları		**Kafes Katsayıları**			
w_{s1}	w_{s2}	**Aşamalar**	k_1	k_2	k_3
0.78 π	0.78 π	1. düzey	-1	-1	-1
		3 düzey	0.1352	-0.0183	0.1352
		5. düzey	0.0329	-0.0011	0.0329
		7. düzey	-0.0298	-0.0009	-0.0298
		9. düzey	-0.0215	-0.0005	-0.0215
0.22 π	0.78 π	1. düzey	-1	-1	-1
		3 düzey	0.1058	-0.0144	0.1363
		5. düzey	0.0018	-0.0006	0.0339
		7. düzey	0.0037	0.0001	-0.0301
		9. düzey	-0.0236	-0.0005	-0.0196
0.22 π	0.22 π	1. düzey	-1	-1	-1
		3 düzey	0.1282	-0.0164	0.1282
		5. düzey	0.0356	-0.0013	0.0356
		7. düzey	-0.0068	-4.6e-5	-0.0068

3.3.1.3 Yöntem III

[11] de geliştirilmiş olan 1 boyutlu PR kafes yapısı, 2 boyutlu 4 kanallı SPRL süzgeç bankası elde etmek için, 2 boyuta genişletilecektir. [11] deki kafes süzgeç gerçeklemesi, 1 boyutlu frekans spektrumunu alçak ve yüksek geçiren bileşenlerine ayırır. Ayrılabilir süzgeçler için, aynı ayrıştırma işlemi L ve H altbantlarına uygulanarak 2 boyuttaki LL, LH, HL ve HH altbantlar elde edilebilir. 2 boyutlu bir süzgeç, 1 boyutlu 2 süzgecin z-domeninde çarpımı biçiminde yazılabiliyorsa bu 2 boyutlu süzgece ayrılabilir süzgeç denir. Dolayısıyla, 4 bant parçalı 2 boyutlu işaretin süzgeçlerinin transfer fonksiyonları, 1 boyutlu süzgeçler cinsinden yazılabilir:

$$\begin{aligned} H_{LL}(z_1,z_2) &= H_L(z_1)H_L(z_2), \\ H_{LH}(z_1,z_2) &= H_L(z_1)H_H(z_2) \\ H_{HL}(z_1,z_2) &= H_H(z_1)H_L(z_2) \\ H_{HH}(z_1,z_2) &= H_H(z_1)H_H(z_2) \end{aligned} \qquad \textbf{(3.30)}$$

İlk aşama L ve H süzgeçlerinin transfer fonksiyonları sırasıyla;

$$\begin{aligned} H_L^{(1)}(z) &= 1 - a_1 z^{-1}, \\ H_H^{(1)}(z) &= a_1 + z^{-1}, \end{aligned} \qquad \textbf{(3.31)}$$

Burada α_1, 1 boyutlu ilk aşama süzgecinin kafes katsayısıdır [12].

Ayrıştırılabilir LL, LH, HL ve HH süzgeçlerinin transfer fonksiyonları, (3.23) kullanılarak kolaylıkla yazılabilir. Sadece tek sayılı aşamalar olduğunu not etmek gerekir. 2 boyutlu ayrılabilir filtrenin (2m+1). aşamasının giriş çıkış ilişkisi aşağıdaki gibidir [36]:

$$\begin{bmatrix} X_0^{(2m+1)}(z_1,z_2) \\ X_1^{(2m+1)}(z_1,z_2) \\ X_2^{(2m+1)}(z_1,z_2) \\ X_3^{(2m+1)}(z_1,z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -a_{2m+1} & a_{2m+1}^2 & -a_{2m+1} \\ a_{2m+1} & 1 & -a_{2m+1} & -a_{2m+1}^2 \\ a_{2m+1}^2 & a_{2m+1} & 1 & a_{2m+1} \\ a_{2m+1} & -a_{2m+1}^2 & -a_{2m+1} & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} X_0^{(2m-1)}(z_1,z_2) \\ z_1^{-1}X_1^{(2m-1)}(z_1,z_2) \\ z_1^{-1}z_2^{-1}X_2^{(2m-1)}(z_1,z_2) \\ z_2^{-1}X_3^{(2m-1)}(z_1,z_2) \end{bmatrix}. \quad \textbf{(3.32)}$$

1 boyutlu bir süzgeçten başlanarak, ayrılabilirlik özelliği kullanılarak 2 boyutlu bir süzgeç türetilmiştir. Yapı sadece bir parametreyle ifade edilmiştir ki; bu parametre aslında 1 boyutlu kafes süzgecin parametresidir. Dolayısıyla, 1 boyutlu ayrışım için arzu edilen L ve H süzgeçlerini elde eden kafes katsayılarını hesaplamak demek, 2 boyutlu LL, LH, HL ve HH süzgeçlerini hesaplamak demektir.

(3.32), çoklufazlılık tekniğiyle elde edilmiş olan 2 boyutlu 4 kanallı NSPRL süzgeç bankasının analiz bölümüyle karşlaştırıldığında, NSPRL nin özel bir türü olduğu açık bir şekilde görülmektedir:

$$\begin{aligned} k_1^{(m)} &= k_3^{(m)} = \alpha_m \\ k_2^{(m)} &= -(\alpha_m)^2 \end{aligned} \quad \textbf{(3.33)}$$

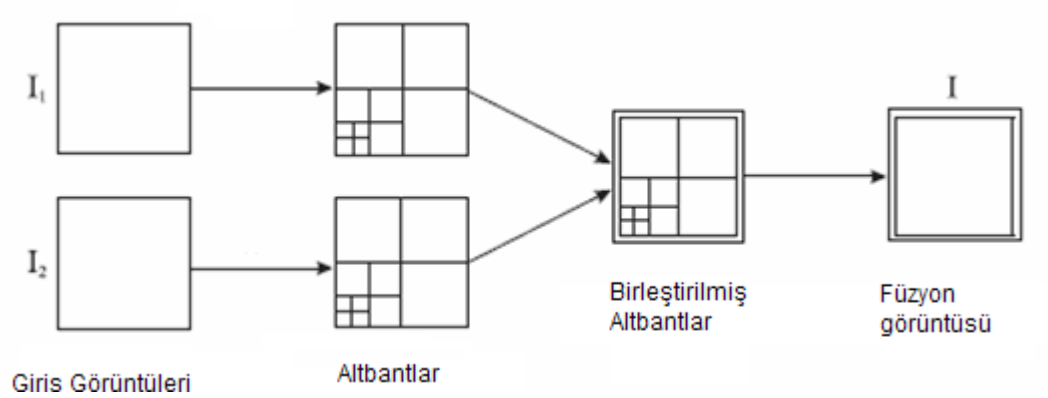
Yukarıda verilen denklemler, ayrılabilir kafes süzgecin ortogonal olduğunun ve NSPRL süzgeçde olduğu gibi PR koşulunu sağladığının ifadesidir [12].

Yöntem III ile elde edilen altbantların Yöntem I ile bire bir aynı olduğu görülmüştür [12].

[11] de verilen tek boyutlu süzgeçlerden elde edilen 2 boyutlu süzgeçlerin frekans cevapları Şekil A.4 de çizilmiştir. Şekilde; ilk satırlar, 1. aşama süzgeçleri, ikinci satırlar 3. aşama süzgeçleri, üçüncü satırlar 5. aşama süzgeçleri ve dördüncü satırlar 7. aşama süzgeçleri gösterirken; ilk sütunlar H_0, iknci sütunlar H_1, üçüncü sütunlar H_2 ve dördüncü sütunlar H_3 frekans cevaplarını temsil etmektedir.

3.3.2 Füzyon algoritması

Altbandlar oluşturulduktan sonra, altbandlar, belirli bir kurala göre birleştirilir. Sonuçta elde edilen yeni altbantlar, sentez yapısı yardımıyla filtrelenerek füzyon görüntüsü elde edilir (Şekil 3.8) .



Şekil 3.8. Kafes Süzgeçlerle füzyon şeması

MS ve PAN görüntülerinin birleştirilmesi için kullanılacak olan füzyon yöntemi adımlar halinde aşağıda verilmiştir.

1. Adım: Giriş görüntüleri Kafes Analiz yapıları yardımıyla altbandlarına ayrıştırılır. Ayrıştırılmış görüntüleri sembolize etmek gerekirse; $SP_{LL}^{j}, SP_{LH}^{j}, SP_{HL}^{j}, SP_{HH}^{j}$: SPOT görüntülerin j^{th} düzey LL, LH, HL and HH altbantları.

$PAN_{LL}^{j}, PAN_{LH}^{j}, PAN_{HL}^{j}, PAN_{HH}^{j}$: PAN görüntülerin j^{th} düzey LL, LH, HL and HH altbantları.

2. Adım: SPOT ve PAN görüntülerin altbantlarını birleştirme kuralı (2.17) deki gibidir

Burada $F_{LL}^{j}, F_{LH}^{j}, F_{HL}^{j}, F_{HH}^{j}$, füzyon görüntüsünün j^{th} düzey LL, LH, HL ve HH altbantlarına karşı düşmektedir.

3. Adım: Elde eddilen yeni altbandlara kafes sentez yapıları uygulanarak geri dönülür ve füzyon görüntüsü elde edilir.

4. Adım: Yukarıdaki adımlar MS bandlarının her birine uygulanır. Elde edilen 3 band tek kanalda birleştirilerek sonuç elde edilmiş olur.

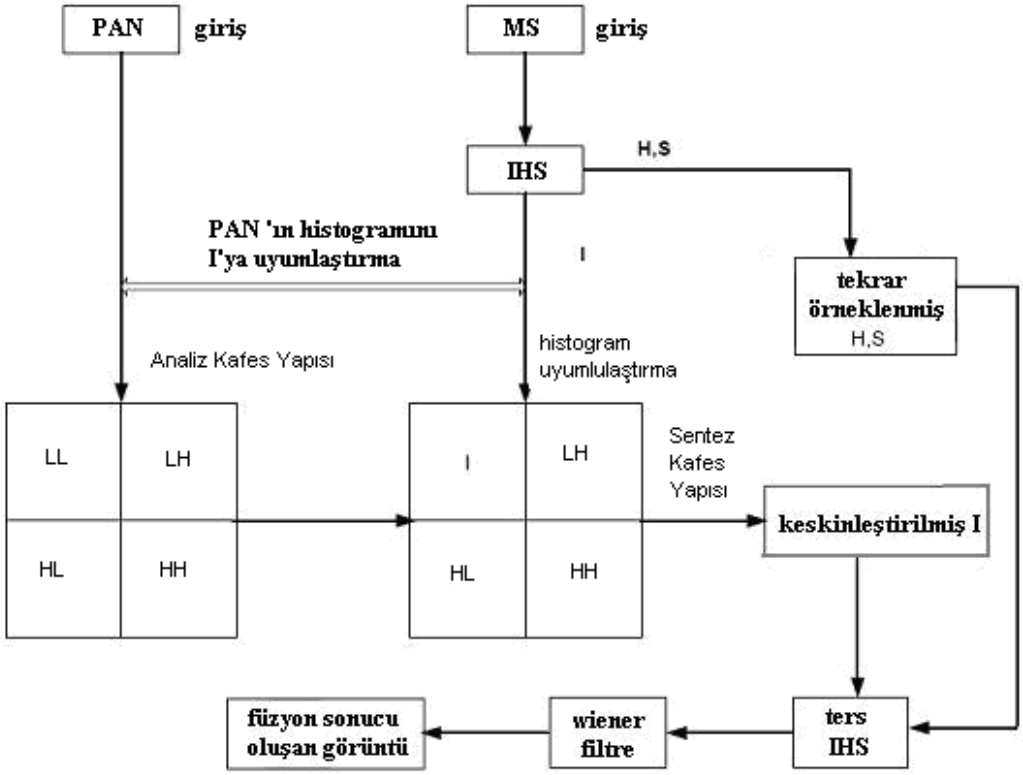
Ayrıca, Wavelet-IHS tümleşik yöntemlerinin bir benzeri olarak Kafes-IHS tümleşik yöntemleri gerçeklenebilir.

3.3.3 Tümleşik kafes IHS füzyon yöntemleri

2. bölümde anlatılan Wavelet-IHS tümleşik füzyon yöntemlerindeki Wavelet dönüşümlerinin yerine Kafes Süzgeç Yapıları yerleştirilerek elde edilen yöntemlerdir.

3.3.3.1 Kafes-IHS yöntem (I)

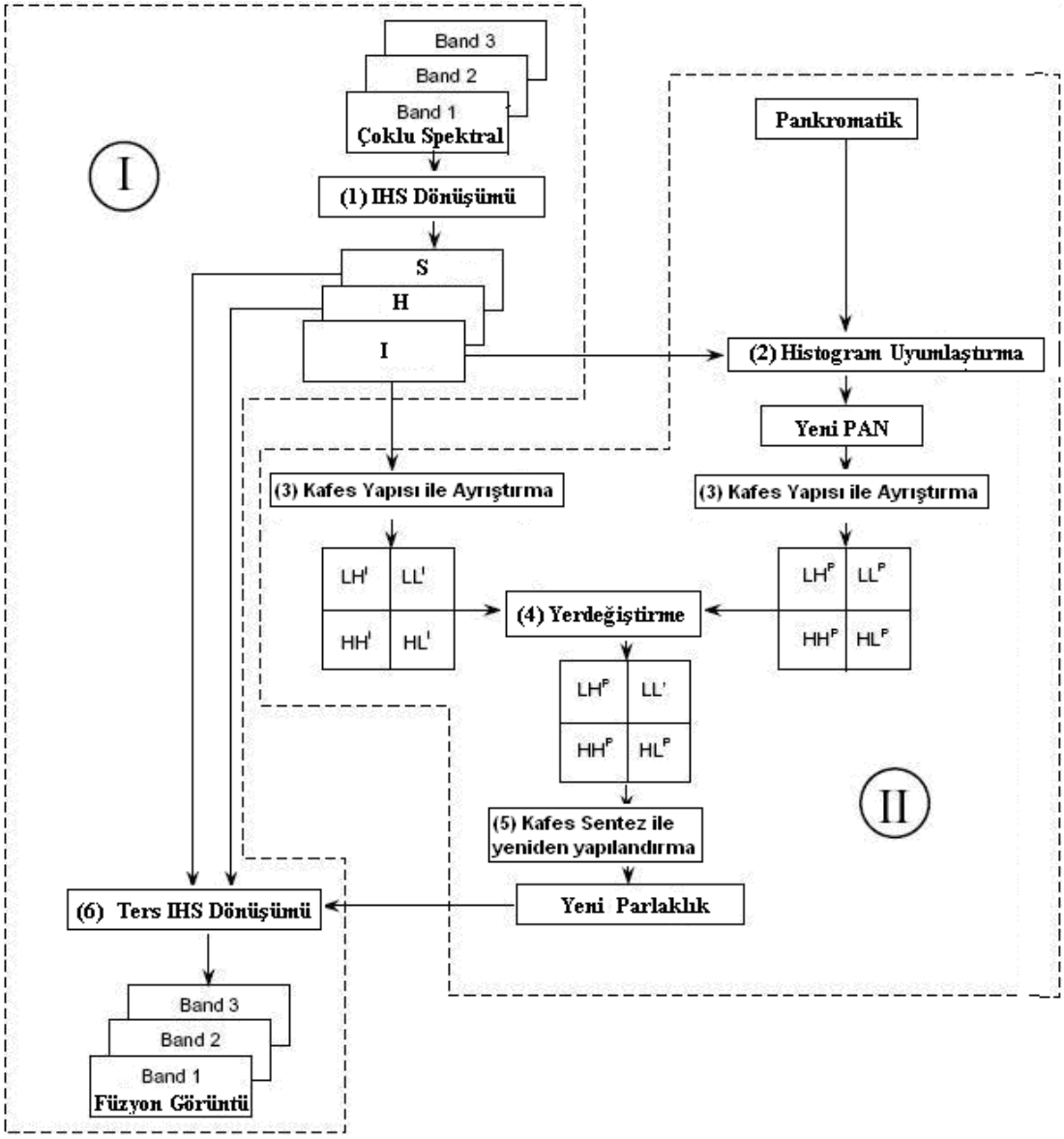
Belirlenen Kafes yapıları, tıpkı waveletler gibi görüntüyü altbantlara ayırıp, bu altbantlardan tekrar görüntüyü elde edebildiği için, waveletin kullanıldığı her yerde kullanılabilmektedir (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. Kafes ve IHS tabanlı birinci yönteminin akış diyagramı

3.3.3.2 Kafes-IHS yöntem (II)

Kafes yapılarının Wavelet ile olan benzerliğinden faydalanılarak Wavelet IHS yöntem (II) için önerilen sistemdeki waveletler yerine Kafes yapısı konularak füzyon gerçeklenecektir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kafes ve IHS tabanlı ikinci yönteminin akış diyagramı

4. GÖRÜNTÜ FÜZYONU UYGULAMALARI

Görüntü füzyonu, yapaylık ve süreksizlik eklenmeksizin her bir görüntüden istenilen bilgilerin çıkarılması amacıyla çeşitli kaynaklardan elde edilen giriş görüntülerini kullanır. Önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere görüntü füzyonu için birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada füzyon sonuçları, çoklu odaklı ve çoklu algılayıcılı kaynaklardan elde edilen görüntüler temel alınarak elde edilmiştir.

Çoklu odaklı görüntü analizi, bir görüntünün bulanık veya bozulmuş görüntülerinin füzyonunu içerir. Bu analiz wavelet, RDFT ve Kafes yapılı süzgeç tabanlı füzyon yöntemleri kullanılarak bir görüntüdeki bozulmuş kısım ile diğer görüntüdeki bozulmamış kısmın yer değiştirilme kapasitesini gösterir [37]. Analiz esnasında kullanılan çoklu odaklı görüntülerin bir kısmı internet kaynaklı olup [38], diğer bir kısmı ise orjinal görüntünün belirli bir bölgesinin gauss süzgeci yardımı ile bulanıklaştırılması sonucu elde edilmiştir.

Çoklu algılayıcılı görüntü analizinde ise SPOT uydu görüntüsünün pankromatik ve üç adet çoklu spektral bandları kullanılmıştır. Çoklu algılayıcılı görüntü füzyonu için daha önce anlatılan yöntemlerin tamamı kullanılmıştır. Analiz aşamasında çeşitli kalite ölçütleri ile sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1 Kalite Ölçütleri

Hangi füzyon yapısının daha iyi olduğu bazen görsel olarak ayırt edilebilmektedir. Ancak, görsel yanılma olabileceği gibi, ileri görüntü işleme adımlarında daha kötü sonuçlar alınabilir. Bu nedenle füzyon edilmiş görüntülerin kalite analizlerinin nicel olarak yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu amaçla belirlenen çeşitli istatistiksel kriterler aşağıda sıralanmıştır.

4.1.1 RMSE (root mean square error–ortalama karesel hatanın karekökü)

RMSE çok iyi bir spektral kalite göstergesidir. İki görüntü arasındaki hatanın karelerinin toplamının ortalamasının karekköüne karşılık gelir. Bu ölçüm her bir pikseldeki ortalama bozulma miktarını belirler. Çoklu odaklı görüntüler için RMSE,

orjinal görüntü ile füzyon sonucu elde edilen görüntü arasında hesaplanır. Çoklu algılayıcılı görüntülerde ise çoklu spektral bandların her biri ile ilgili füzyon edilmiş görüntü bandları arasında RMSE hesabı yapılır [36]. A(m,n) ve B(m,n) , MxN boyutunda olan görüntülerin (m,n). pikselini ifade eder. RMSE eşitliği (4.1) de verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\left|A(m,n) - B(m,n)\right|^2} \qquad \textbf{(4.1)}$$

4.1.2 Korelasyon katsayısı

Korelasyon katsayısı yardımıyla iki görüntünün birbirine benzerliği ölçülebilir. Korelasyon katsayısı +1 ile -1 arasında değer alır. Katsayının +1 olması iki görüntünün eşit olması anlamına gelir. -1 değerindeki korelasyon katsayısı ise iki görüntünün birbirine tamamen zıt olduğunu gösterir. Korelasyon katsayısı (4.2) eşitliği ile hesaplanır.

$$Corr(A/B) = \frac{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(A_{ij} - A_{ort})(Bij - B_{ort})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(A_{ij} - A_{ort})^2 \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(Bij - B_{ort})^2}} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Burada A ve B aralarında korelasyonun hesaplandığı iki görüntüdür. Füzyon işleminden önce ve sonra çoklu spektral görüntünün her bir bandı arasında korelasyon hesaplanır. En iyi spektral bilgi çoklu spektral görüntüde mevcut olduğundan füzyon edilmiş görüntünün bandları çoklu spektral görüntünün bandları ile yakın bir korelasyona sahip olmalıdır. Korelasyon değerleri birbirine yakın ise füzyon sonucu elde edilen görüntünün spektral kalitesi yüksektir. Diğer korelasyon katsayıları takımı ise çoklu spektral görüntünün her bir bandı ile pankromatik görüntü arasında hesaplanır. Pankromatik görüntü daha iyi uzamsal bilgiye sahip olduğu için füzyon sonucu elde edilen görüntünün bandları ile PAN görüntü arasındaki korelasyonun orjinal çoklu spektral band için elde edilen değerden daha yüksek olması beklenir. Korelasyon değerindeki bir artış çoklu spektral görüntü ile karşılaştırıldığında uzamsal bilgideki bir artışın belirtisidir.

4.1.3 PSNR (peak signal to noise ratio–tepe işaret gürültü oranı)

Tepe işaret gürültü oranı, işaretin mümkün olan en yüksek gücü ile gürültünün maksimum gücünün oranıdır. İşaretler genellikle çok geniş dinamik bir dağılım gösterdikleri için PSNR genellikle logaritmik desibel ölçeğinde ifade edilir. PSNR genellikle görüntü yeniden yapılandırma kalitesinin bir ölçümü olarak kullanılır. En kolay, MxN boyutlu u ve v görüntülerden biri diğerinin gürültülü yaklaşıklığı olarak kabul edildiği eşitlik (4.3) ile verilen MSE (Mean Square Error–Ortalama Karesel Hata) ile tanımlanır.

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{I_{\max}^2}{RMSE^2}\right) \tag{4.3}$$

Burada MAX_I görüntüdeki maksimum piksel değeridir. Eğer görüntüler her bir örnekte 8 bit olarak ifade edilirlerse bu değer 255'dir.

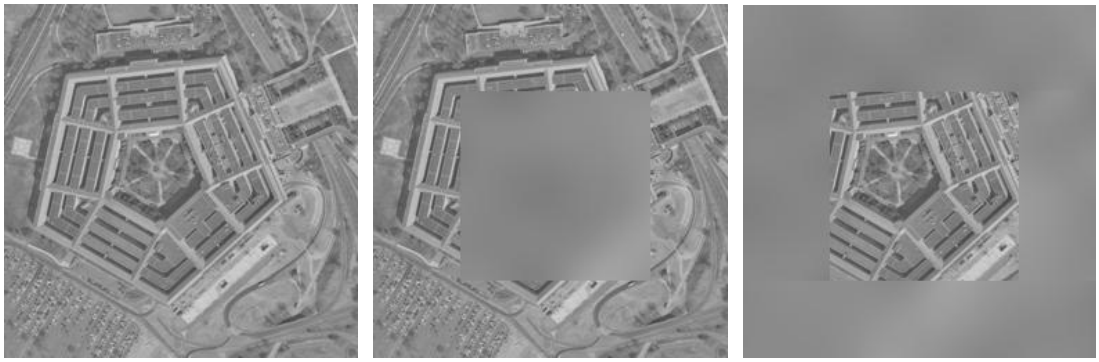
4.2 Çoklu Odaklı Görüntü Füzyonu Uygulamaları

Bu çalışmada görüntü içindeki bulanık kısımların etkin bir şekilde ortadan kaldırılması için daha önce bahsedilen dalgacık füzyonu, kafes yapılı füzyon ile RDFT tabanlı füzyon yöntemleri kullanılmıştır. Çoklu odaklı görüntü analizinde ise daha önce ele alınan çeşitli kalite ölçütleri kullanılarak füzyon sonuçları değerlendirilmiştir.

Optik lenslerin odak derinliğinin kısıtlı olmasından dolayı, tüm ilgili nesnelerin odakta olduğu bir görüntü elde etmek genelde mümkün değildir. Bu problemin üstesinden gelmenin bir yolu farklı odak noktalarına sahip birkaç resim çekmek ve tüm giriş görüntülerinin odakta olan bölgelerini içeren bir resim elde etmek üzere bu resimleri birleştirmektir.

Elde edilen sonuçlar için görsel analiz yapıldığında 2 seviye gerçekleştirilen füzyon sonuçlarının tek seviyelere oranla daha iyi olduğu ve alt örneklemesiz sistemlerin alt örneklemeli olanlardan daha iyi sonuç verdiği aşikardır. Bu durumda, SWT ve Kafes Yapılı süzgeçler kullanılarak yapılan füzyonun daha iyi olduğu sonucuna varılabilir. Ancak, çeşitli kalite ölçütleri kullanılarak yapılan istatistiksel hesaplamalar ile daha gerçekçi sonuçlar elde edileceğinden, test verileri hazırlanmıştır. Bu amaçla orjinal görüntünün çeşitli bölümlerinin gauss süzgeci ile bulanıklaştırılması sonucu elde

edilen görüntüler füzyon işleminden geçirilerek birleştirilmiş bir görüntü elde edilmiştir. Elde edilen görüntü ile orjinal görüntü arasında RMSE ve PSNR hesaplamaları yapılarak yöntemler arasında daha gerçekçi bir karşılarştırma yapılmıştır. Şekil 4.1-4.4 kullanılan test kümelerini göstermektedir.



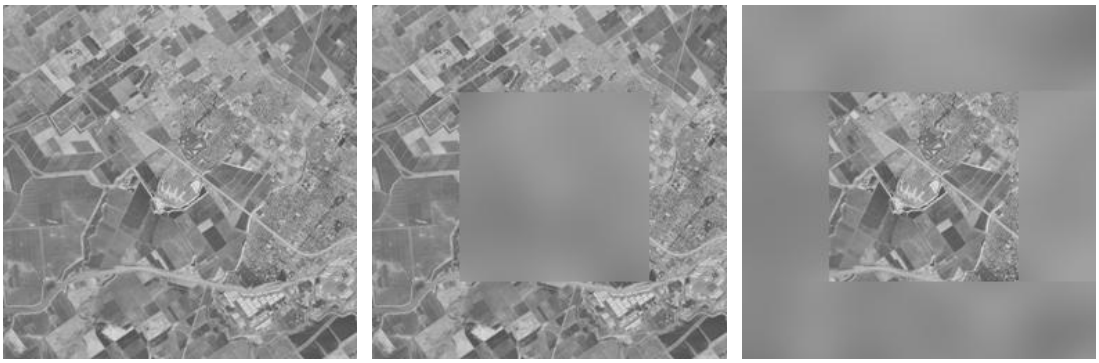
a) **b)** **c)**

Şekil 4.1. İlk Test Kümesi **a)** Orjinal Görüntü **b)** ve **c)** Bulanıklaştırılmış Görüntüler



a) **b)** **c)**

Şekil 4.2. İkinci Test Kümesi **a)** Orjinal Görüntü **b)** ve **c)** Bulanıklaştırılmış Görüntüler



a) **b)** **c)**

Şekil 4.3. 3. Test Kümesi **a)** Orjinal Görüntü **b)** ve **c)** Bulanıklaştırılmış Görüntüler



a) **b)** **c)**

Şekil 4.4. 4. Test Kümesi **a)** Orjinal Görüntü **b)** ve **c)** Bulanıklaştırılmış Görüntüler

Şekil B.1-B.3 ilk test kümesi için, Şekil B.4-B.6 ikinci test kümesi için, Şekil B.7-B.9 üçüncü test kümesi için ve Şekil B.10-B.12 dördüncü test kümesi için füzyon sonuçlarını göstermektedir.

Çoklu odaklı görüntü analizinde hesaplanan kalite ölçütleri ise Tablo B.1, B.2, B.3. ve B.4 de verilmiştir. Elde edilen RMSE ve PSNR değerlerine bakıldığında, Kafes Yapılı Süzgeçlerle yapılan füzyon ile Wavelet tabanlı füzyon sonuçları birbirine oldukça yakındır. İkinci ve dördüncü test kümelerinde Dalgacık Tabanlı yöntem daha iyi sonuç verirken, birinci ve üçüncü test kümelerinde ise Kafes Süzgeç Yapıları ile yapılan füzyon daha iyi sonuç vermektedir. Dalgacık dönüşümleri kendi aralarında kıyaslandığında, altörnekleme kullanılmayan SWT dönüşümünün, altörneklemeli olan DWT ye göre daha iyi sonuç verdiği, kullanılan dalga şekilleri içerisinde ise en iyi sonucu "db1" dalga şeklinin verdiği açıktır. Ayrıca, iki seviye ayrışımla yapılan füzyon, tek seviyeliye oranla çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Kafes süzgeç yapıları, kendi aralarında kıyaslandığı zaman ise Yöntem II' nin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Yöntem II de hesaplanan katsayı değerleri içerisinde, w_{s1}=0.22 π, w_{s2}=0.22 π kesim frekanslarında elde edilen katsayılarla kurulan yapının en iyi sonucu verdiği gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak, çoklu algılayıcı füzyon uygulamalarında, SWT ve DWT için "db1" dalgacık şekli, Kafes Yapıları için ise w_{s1}=0.22 π, w_{s2}=0.22 π kesim frekanslarında elde edilen katsayılarla kurulan Yöntem II ile Yöntem I ve III kullanılacaktır.

4.3 Çoklu Algılayıcılı (Multisensor) Görüntü Füzyonu

Uzaktan algılama alanında yapılan çalışmalarda görüntünün hem yüksek uzamsal hem de yüksek spektral çözünürlüklere sahip olması beklenir. Bu nedenle yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik (PAN) görüntü ile yüksek spektral çözünürlüklü

çoklu spektral (MS) görüntülerin etkin bir şekilde birleştirilmesi için literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışma dahilinde ise IHS tabanlı, wavelet tabanlı, RDFT tabanlı yöntemler ile yeni bir yöntem olan Kafes Süzgeç tabanlı yöntemler ve bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı tümleşik füzyon yöntemleri ele alınmıştır. Dalgacık tabanlı füzyon yöntemlerinde test görüntüleri ile belirlendiği üzere db1 dalgacık şekli kullanılmış ve 2 seviye ayrışım yapılmıştır. Kafes süzgeçler için ise en iyi sonuçları veren 1 boyutlu kafes yapısı ile, ws1=0.22 π, ws2=0.22 π kesim frekanslarında elde edilen katsayılarla kurulan 2 boyutlu yapı kullanılmış ve iki seviye ayrışım yapılmıştır. Birleştirme işleminde, PAN görüntünün uzamsal detayları MS görüntüyü keskinleştirmek için kullanılmakta, aynı zamanda MS görüntünün spektral bilgisi korunmaya çalışılmaktadır. Füzyon sonucu oluşan görüntünün kullanılacağı alana göre uzamsal ve spektral çözünürlük beklentileri farklı olabilmekte, dolayısıyla füzyon yöntemi bu kriterlere göre değerlendirilebilmektedir. Çoklu algılayıcılı görüntü füzyon analizinde ise füzyon sonucu keskinleştirilen çoklu spektral (MS) görüntüler için kalite performansı, bu görüntüler ile orjinal SPOT çoklu spektral görüntülerin karşılaştırılması yolu ile belirlenir. Bu amaçla, çoklu odaklı füzyon analizinde olduğu gibi çeşitli kalite ölçütleri ile hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Orjinal görüntüler Şekil B.13 de, her bir füzyon yöntemi için elde edilen görüntüler Şekil B.14 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı bant kombinasyonları için korelasyon değerleri

YÖNTEM	BAND 1&2	BAND 1&3	BAND 2&3
ORİJİNAL MS	0.8500	0.4573	0.1000
DWT	0.9610	0.2528	0.4018
SWT	0.9618	0.2522	0.4037
IHS	0.9554	0.3896	0.6176
IHS&W (1)	0.8405	0.4719	0.0908
IHS&W (2)	0.8678	0.4395	0.0713
Kafes Yöntem I ve III	0.8524	0.4242	0.0728
Kafes Yöntem II	0.8574	0.4080	0.0574
RDFT	0.9618	0.1920	0.3712
Kafes & IHS (1)	0.8932	0.1565	0.2908
Kafes & IHS (2)	0.9002	0.3278	0.3581

Tablo 4.2. Görüntülerin her bir bandı ile PAN görüntü arasında korelasyon değerleri

YÖNTEM	BAND 1&PAN	BAND 2&PAN	BAND 3&PAN
ORİJİNAL MS	0.9104	0.9680	0.1822
DWT	0.9805	0.9905	0.3703
SWT	0.9819	0.9916	0.3730
IHS	0.9410	0.9635	0.5686
IHS&W (1)	0.8343	0.9217	0.1847
IHS&W (2)	0.9186	0.9662	0.1424
Kafes Yöntem I ve III	0.9222	0.9781	0.1510
Kafes Yöntem II	0.9253	0.9799	0.1366
RDFT	0.9798	0.9902	0.3337
Kafes & IHS (1)	0.8241	0.8837	0.2090
Kafes & IHS (2)	0.9440	0.9749	0.3364

Çoklu algılayıcılı füzyon için belirlenen kalite ölçütü olan korelasyon katsayıları da farklı bant kombinasyonları için hesaplanmıştır. Füzyon sonucu elde edilen görüntülerde uzamsal ve spektral bilginin korunumunu test etmek için iki farklı değerlendirme modeli kullanılmıştır. Bunlar;

1) Füzyon sonucu elde edilen görüntünün çeşitli bant kombinasyonları ile çoklu spektral görüntünün ilgili bant kombinasyonları,

2) Füzyon sonucu elde edilen görüntü kanalları ile orjinal pankromatik görüntü arasında yapılan değerlendirmeye dayanır.

İlk değerlendirme modeline göre hesaplanan değerler Tablo 4.1 de verilmiştir. Spektral bilginin korunumunu garanti etmek için füzyon sonucu elde edilen görüntünün bandları arasında hesaplanan korelasyon değerlerinin aynı zamanda çoklu çözünürlüklü bandlar arasında hesaplanan değerler ile benzerlik göstermesi gerekir. Bu durumda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, MS görüntünün korelasyonlarına en yakın sonuçları Kafes Yöntem I in verdiği, ardından ise Wavelet – IHS 2. yönteminin verdiği gözlemlenmektedir. Bu durum füzyon edilmiş görüntü bandlarının spektral kalitesinin bu yöntemler için yüksek olduğunu gösterir.

Ayrıca, spektral bandlar ile pankromatik görüntü arasındaki korelasyon değerleri ile benzer olarak füzyon sonucu oluşan görüntünün kanalları ile pankromatik görüntü arasında hesaplanan korelasyon değerleri Tablo 4.2 de verilmiştir. Hesaplanan bu ikinci değerlendirme modeline göre, füzyon sonucu oluşan görüntünün bandları ile pankromatik görüntü arasındaki korelasyon değerlerinin MS görüntü için hesaplanan değerlerden daha fazla olması beklenir. Ancak artışın 1 değerine yaklaşması da istenmez; çünkü bu durumda uzamsal detay elde edilen görüntü içinde oldukça

baskın olmaktadır ki bu da renk bozumunun oldukça yüksek olduğunun göstergesidir. IHS yönteminin en büyük sorununun bu olduğuna daha önce değinilmişti. Bu durumda Kafes – IHS tümleşik füzyon yöntemlerinden ikincisi için hesaplanan değerlerin diğer yöntemlere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu yöntemden sonra en iyi sonuçları veren yöntemler Dalgacık dönüşümleri ile Kafes – IHS ikinci yöntemidir. Bu sonuçlara göre, bu 3 yöntem diğer yöntemlere nazaran daha iyi oranda uzamsal bilgiyi barındırmaktadır.

Her iki korelasyon sonucunu birlikte düşününce, dalgacık dönüşümü ile Kafes süzgeçlerin birbirine oldukça yakın ve en iyi sonuçları verdiği söylenebilir. Kafes süzgeçlerin sağladığı işlem kolaylığı gözönünde bulundurulursa, bu yöntemin tercih edilebilirliği artmaktadır.

5. SONUÇ

Özellikle uzaktan algılama alanında kullanılan görüntü füzyonu, belli bir bölgenin farklı görüntülerinin, daha iyi bir görüntü oluşturmak üzere, birleştirilmesi işlemine denir. Uzaktan algılama için tasarlanan algılayıcılar, uzamsal ve spektral çözünürlük ile işaret gürültü oranı arasındaki denge nedeni ile kısıtlanmaktadır. Bu noktada, yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik (PAN) görüntü ile yüksek spektral çözünürlüklü çoklu spektral (MS) görüntü kanallarından elde edilen bilgilerin birleştirilmesine yönelik çalışmalar sonucu birçok görüntü füzyonu yöntemi geliştirilmiştir. Görüntü füzyonu yöntemlerinden bir kısmı bu tez çalışmasında ele alınmış, yeni bir metot olarak Kafes Yapılı Süzgeçler ile füzyon gerçeklenmiş ve uygulanan yöntemler arasında çeşitli kalite ölçütleri kullanılarak performans karşılaştırılması yapılmıştır.

Ele alınan yöntemlerden biri olan IHS füzyon yöntemi tek başına oldukça kötü sonuçlar vermiştir. Temelde PAN görüntüsünün parlaklık görüntüsü ile yer değiştirmesi esasına dayanan bu yöntemde her iki görüntü arasındaki korelasyonun düşük olması nedeni ile bozunum miktarının yüksek olduğu gözlenmiştir. Çalışma esnasında hesaplanan her bir kalite ölçütü sonucu bu yöntemin ele alınan yöntemler içerisinde istatistiksel olarak en kötü sonucu verdiği tespit edilmiştir.

IHS dışında uygulanan diğer yöntemlerin temel olarak çalışma sistemleri aynıdır. Bu sistem, ilk olarak görüntünün altbantlara ayrılması (analiz), elde edilen altbantlar üzerinde belli bir kural çerçevesinde birleştirme işlemi gerçekleştirilmesi ve oluşan yeni altbantlardan geriye dönülerek (sentez) füzyon görüntüsünün elde edilmesini içerir. Bu çalışmada iki farklı füzyon kuralı uygulanmıştır. Çokluodaklı görüntü füzyonunda, LL (yaklaşıklık) altbant değerlerinin ortalaması ile LH, HL ve HH (detay) altbantlarının mutlak değer olarak maksimumunun alınmasına dayanan yöntem uygulanmıştır. Çoklu algılayıcılı füzyonda ise, MS görüntünün LL altbandı, füzyon görüntüsünün LL altbandı olarak alınmış, benzer şekilde PAN görüntünün detay altbantları da füzyon görüntüsünün detay altbantları olarak kullanılmıştır.

Altbandlara ayrıştırma ve yeniden oluşturma adımlarında kullanılan yöntemlerin ilki, wavelet (dalgacık) tabanlı füzyon yöntemidir. Wavelet tabanlı füzyon algoritmalarını gerçekleştirmek için DWT ve SWT olmak üzere iki tip wavelet dönüşümü

kullanılmıştır. Uydu görüntülerinin füzyon işleminde kullanılmak üzere tercih edilen wavelet dalgacık şekli ve uygulanan ayrışım seviyesi test dataları yardımıyla kalite ölçütleri hesaplanarak belirlenmiştir. Buna göre db1 dalgacık şekli kullanılarak iki seviye gerçekleştirilen bu yöntem alt ve üst örnekleme işlemlerinin yapılmadığı SWT için en iyi sonuçları vermiştir.

Yöntemlerden bir diğeri olan DFT/RDFT tabanlı füzyon yöntemi uygulama açısından kolay olmakla birlikte, elde edilen sonuçlar itibariyle, iyi bir yöntem değildir.

Kafes Yapılı Süzgeçler yardımıyla yapılan füzyon, bu çalışmada yeni bir yöntem olarak sunulmuştur. Kafes Yapılı Süzgeç bankalarının görüntüyü altbantlarına ayırdığı ve PR koşullarına uyduğu bilgisi temel alınarak, bu yapılar füzyona uygulanmıştır. Çoklu odaklı uygulamalarda, Kafes yöntemi ile elde edilen sonuçların Wavelet tabanlı yaklaşım sonuçlarına oldukça yakın, hatta daha iyi olduğu gözlenmiştir. Çoklu algılayıcı uygulamalara bakıldığında, wavelet ile kafes süzgeçlerin yine birbirine oldukça yakın sonuçlara ulaştığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca, IHS ve Wavelet tabanlı füzyon yöntemlerinin avantajlarından daha iyi yararlanmak ve her iki tekniğin eksikliklerini gidermek için önerilen Wavelet ve IHS tabanlı tümleşik füzyon yöntemlerinden ikisi bu çalışma dahilinde ele alınmıştır. Bu yöntemler hesaplanan kalite ölçütlerine göre genel olarak spektral bilginin korunumu açısından birbirine yakın ve yöntemlerin tek başına kullanıldıkları duruma göre çok daha iyidir. İki yöntem kendi aralarında karşılaştırıldığında ikinci yöntemin ilkinden daha iyi olduğu sonucuna varılabilir.

IHS ve Wavelet in tümleştirildiği yöntemler, aynı algoritma yardımıyla Kafes Süzgeç yapısına da uygulanmıştır. Tıpkı Wavelet - IHS de olduğu gibi, Kafes – IHS tümleşik yöntemleri, yöntemlerin tek başına kullanıldığı durumlara göre spektral bilgi açısından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada ele alınan tüm yöntemler arasında en iyi sonuçlar Kafes Süzgeçler ile Dalgacık yöntemlerine aittir. Her ne kadar, iki yöntemle elde edilen sonuçlar, birbirlerine oldukça yakın olsa da, kafes süzgeçlerin işlem açısından daha kolay olduğu gerçeği, wavelete göre daha kullanışlı bir yöntem olacağının göstergesidir.

Kafes Süzgeç yapıları ile elde edilen sonuçların oldukça iyi olduğu göz önünde bulundurularak, ilerleyen süreçte, daha gelişmiş kafes yapıları ile altband

çözümlemeleri gerçeklenebilir. Bu çözümlemeler yardımıyla daha düşük seviyede kafes aşamaları kullanılabilmesi halinde ayrıştırma ve geriye çatma işlemlerinin daha da kolaylaşması sağlanabileceği gibi, füzyon sonuçlarının mevcut durumdan daha iyi olması da sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

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

[2] **Wen, C. Y. and Chen, J. K.,** 2004. Multi-resolution image fusion technique and its application to forensic science, *Forensic Science International* **140**, 217–232.

[3] **Petrovic, V. S.,** 2001. Multi-sensor Pixel Level Image Fusion, *PhD Thesis* Manchester School Of Engineering, Manchester.

[4] **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

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

[6] **Carpet, W. J., Lillesand T. W. And Kieffer R. W.,** 1990. The Use of Intensity – Hue – Saturation Transformation for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* **56(4)**, 457-459.

[7] **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*, 6.

[8] **Sezgin, M., Erer I. and Ersoy O.K.,** 2005**.** A Novel DFT/RDFT Based Subband Representation fot the Fusion Of Remote Sensing Images, *Recent Advances in Space Technologies,. RAST 2005. Proceedings of 2nd International Conference on* 9-11 June 2005 pp. 611 – 616.

[9] **Vaidyanathan P.P.,** 1987. Perfect Reconstruction QMF Banks for Two-Dimensional Applications, *IEEE Transactions on Circuits and Systems,* **CAS-34**.

[10] **Vaidyanathan P.P.,** 1987. Quadrature Mirror Filter Banks, M-Band Extensions, and Perfect Reconstruction Techniques, *IEEE Transactions on ASSP*, **4 (3)**.

[11] **Vaidyanathan, P.P. and Hoang P.Q.,** 1988. Lattice Structures for Optimal Design and Robust Implementation of Two-Channel Perfect Reconstruction QMF Banks*, IEEE Trans. ASSP,*. **36**, 81-94.

[12] **Sezen, S. And Ertüzün A.,** 2006. 2D Four Channel Perfect Reconstruction Filter Bank Realized with the 2D Lattice Filter Structure, S. Sezen and A. Ertüzün, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing* **42672**, 1–16.

[13] **Gonzalez and Woods**, 2002. Digital Image Processing, *2nd Edition by Prentice Hall*

[14] **Daubechies I.,** 1988. Orthonormal bases of compactly supported wavelets, *Communications on Pure and Applied Mathematics*, **41,** 909–996.

[15] **Mallat S.G.,** 1989. Multifrequency channel decompositions of images and wavelet models, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing,* **37(12),** 2091–2110.

[16] **Ganzalo, P. and Jesus M.**, 2004. Wavelet-based Image Fusion Tutorial, *Pattern Recognition,* **8(37)**, 1855-1872.

[17] **Chipman, L. J., Orr, T. M. and Lewis, L.N.**, 1995. Wavelets and image fusion. *IEEE Transactions on Image Processing,* **3**, 248-251.

[18] **Li, H., Manjunath, B. S. and Mitra, S.K.,** 1994. Mulitsensor Image Fusion Using the Wavelet Transform. Proceeding of *IEEE International Conference on Image Processing. Austin, Texas,* p.51-55.

[19] **Chen T. and Vaidyanathan P. P.,** 1993. Multidimensional multirate filters and filter banks derived from one-dimensional filters, *IEEE Transactions on Signal Processing,* **41(5)**, 1749–1765.

[20] **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 (4),** 743-757.

[21] **Li S., Kwok J. T. and Wang Y.,** 2002. Using the Discrete Wavelet Frame Transform to Merge Landsat TM and SPOT Panchromatic Images, *Information Fusion,* **3 (1),** 17-253.

[22] **Hill, P., Canagarajah, N. and Bull, D.,** 2002. Image Fusion Using Complex Wavelets, *Dept. of Electrical and Electronic Engineering The University of Bristol* Bristol, BS5 1UB, UK

[23] **Ersoy, O. K.,** 1985. Real Discrete Fourier Transform, *IEEE Transaction Acoustics, Speech, Signal Processing,* **ASSP-33(4)**, 880-882.

[24] **Ersoy, O. K.,** 1994. A Comparative Review of Real and Complex Fourier-related Transforms, *Proceedings Of IEEE,* **82 (3),** , 429-447.

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

[26] **Hong, G. and Zhang Y.**, 2005. An image registration technique of high resolution remote sensing image in hilly area. *IEEE/ISPRS 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005)*, Arizona, USA, March 14-16.

[27] **Ertüzün, A., Kayran A. H. and Panayırcı E.,** 1990. Stable Quarter-Plane Lattice Filters, *Electronic Letters,* **26 (12)**, 806-807.

[28] **Kayran, A.H.,** 1990. Design of 2-D Recursive Filters with Asymmetric Half-Plane Lattice Modeling, *IEE Proceedings,* **137 (6).**

[29] **Lev-Ari H. and Parker S.R.,** 1986. Stable and Efficient 2-D Lattice Filter, *Proceedings ICASSP.*

[30] **N. J. Fliege,** 1994. Multirate Digital Signal Processing", *John Wiley&Sons.*

[31] **Galand C. R. and Nussbaumer H. J.,** 1984. New Quadrature Mirror Filter Structres, *IEEE Transactions on ASSP,* **32(3)**.

[32] **Jain V. K. and Crochiere R.E.,** 1984. Quadrature Mirror Filter Design in the Time Domain, , *IEEE Transactions on ASSP,* **32.**

[33] **Smith M. J. T. and Barnwell, T. P.,** 1986. Exact Reconstruction for Tree-Structured Subband Coders, *IEEE Transactions on ASSP,* **34**.

[34] **Parker, S. R. and Kayran, A. H.,** 1984. Lattice Parameter Autoregressive Modelling of Two – Dimensional Fields – Part I: The Quarter Plane Case, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing,* **ASSP-32**, 4.

[35] **Akansu A. N. and Haddad R.A.,** 1992. Multiresolution Signal Decomposition: Transforms, Subbands and Wavelets, Academic *Press, San Diego, Calif*, USA.

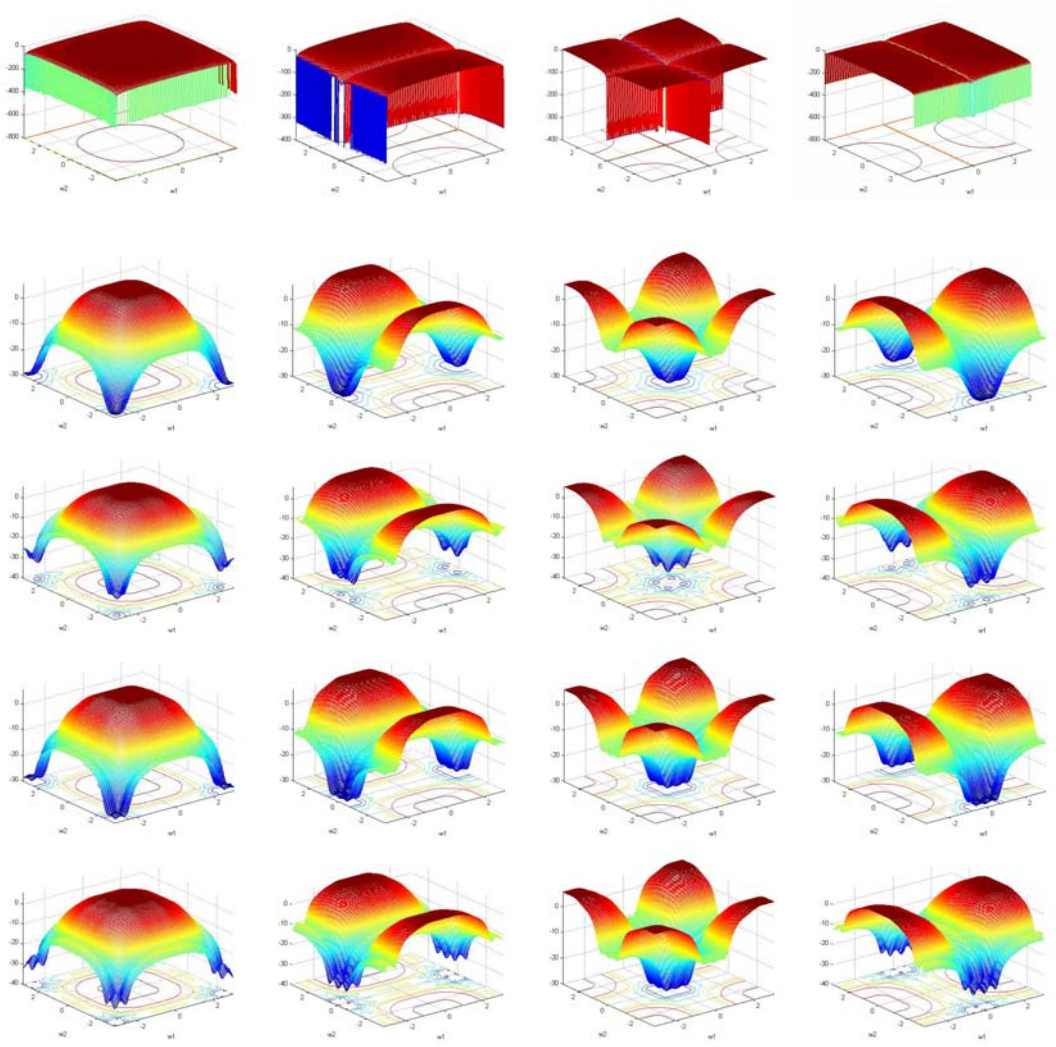
[36] **Li, H., Manjunath, B. S. and Mitra, S. K.,** Multi- Sensor Image Fusion Using The Wavelet Transform.

[37] **Levis, J. J.**, **O_Callaghan, R. J. and Nikolov, S. G.,** 2007. Pixel- and region-based image fusion with complex wavelets, *Information Fusion*, **8**.

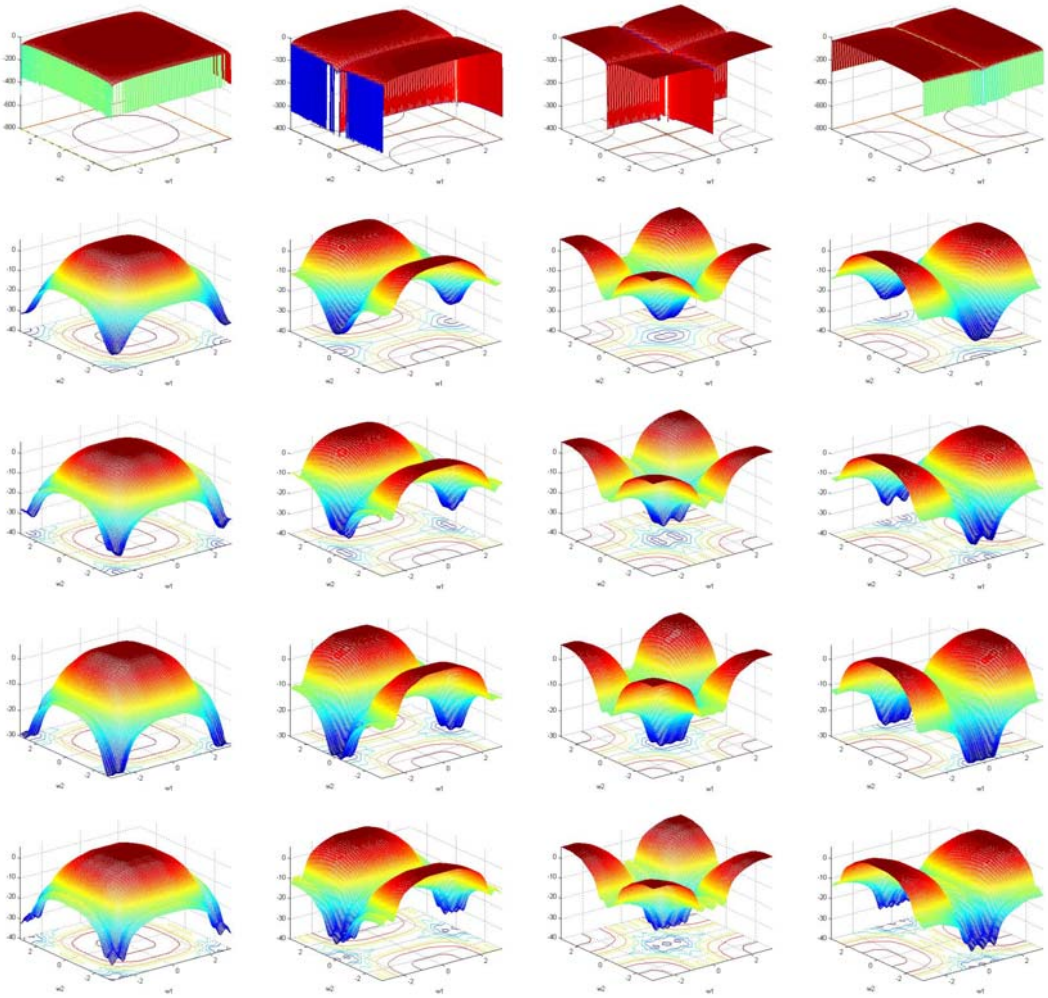
[38] **Weber, A. G.,** 2006. The USC-SIPI Image Database: Version 5, *Signal and Image Processing Institute University of Southern California Department of Electrical Engineering*, Los Angeles, U.S.A.

EKLER

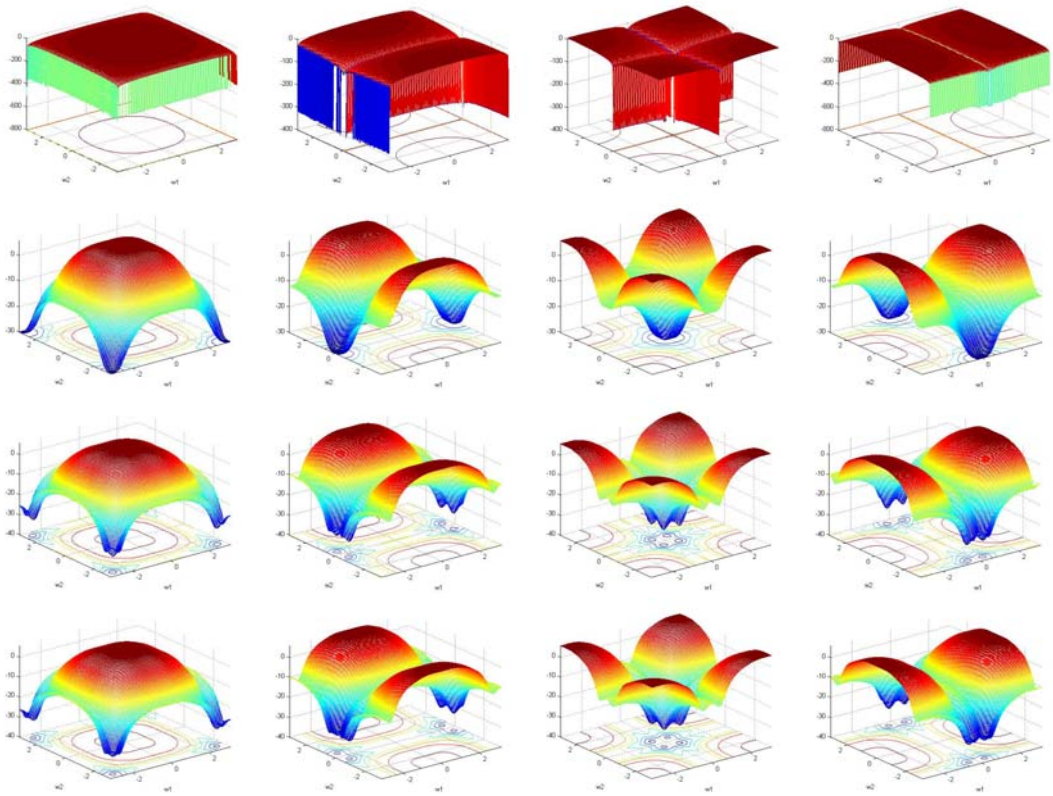
EK A



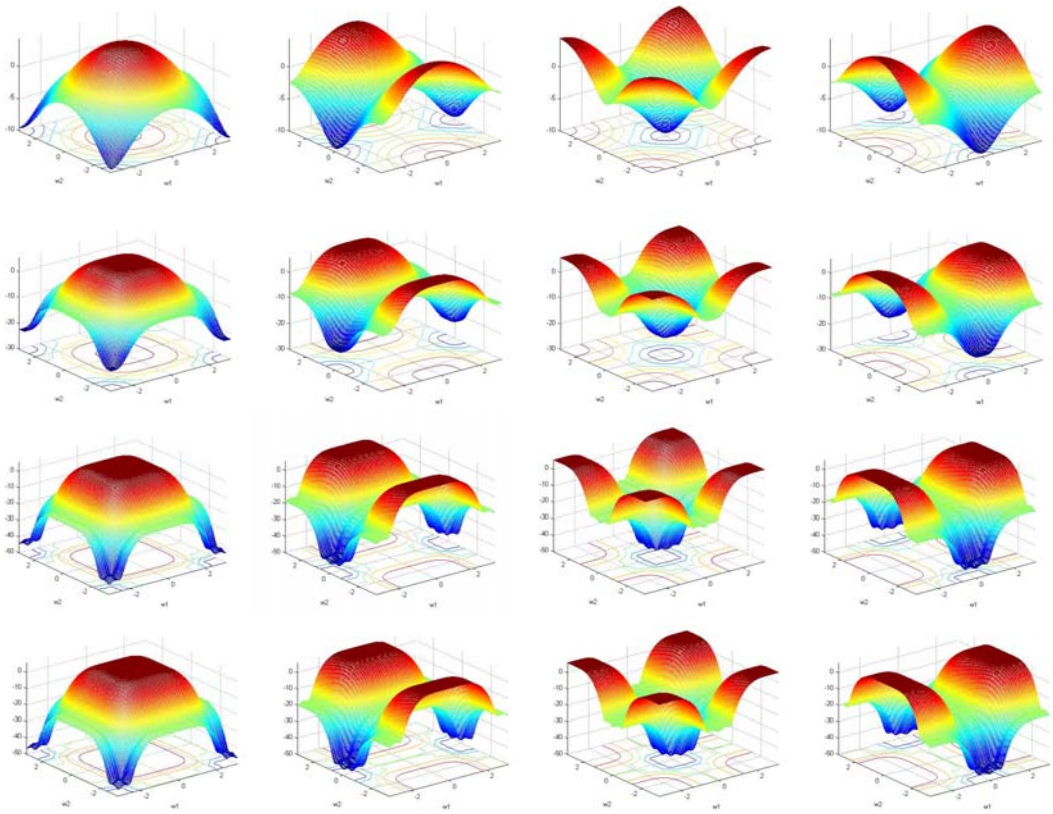
Şekil A.1. w_{s1}=0.78 π – w_{s2}=0.78 π kesim frekanslarında 2 boyutlu filtre tasarımı



Şekil A.2. w_{s1}=0.22 π – w_{s2}=0.78 π kesim frekanslarında 2 boyutlu filtre tasarımı

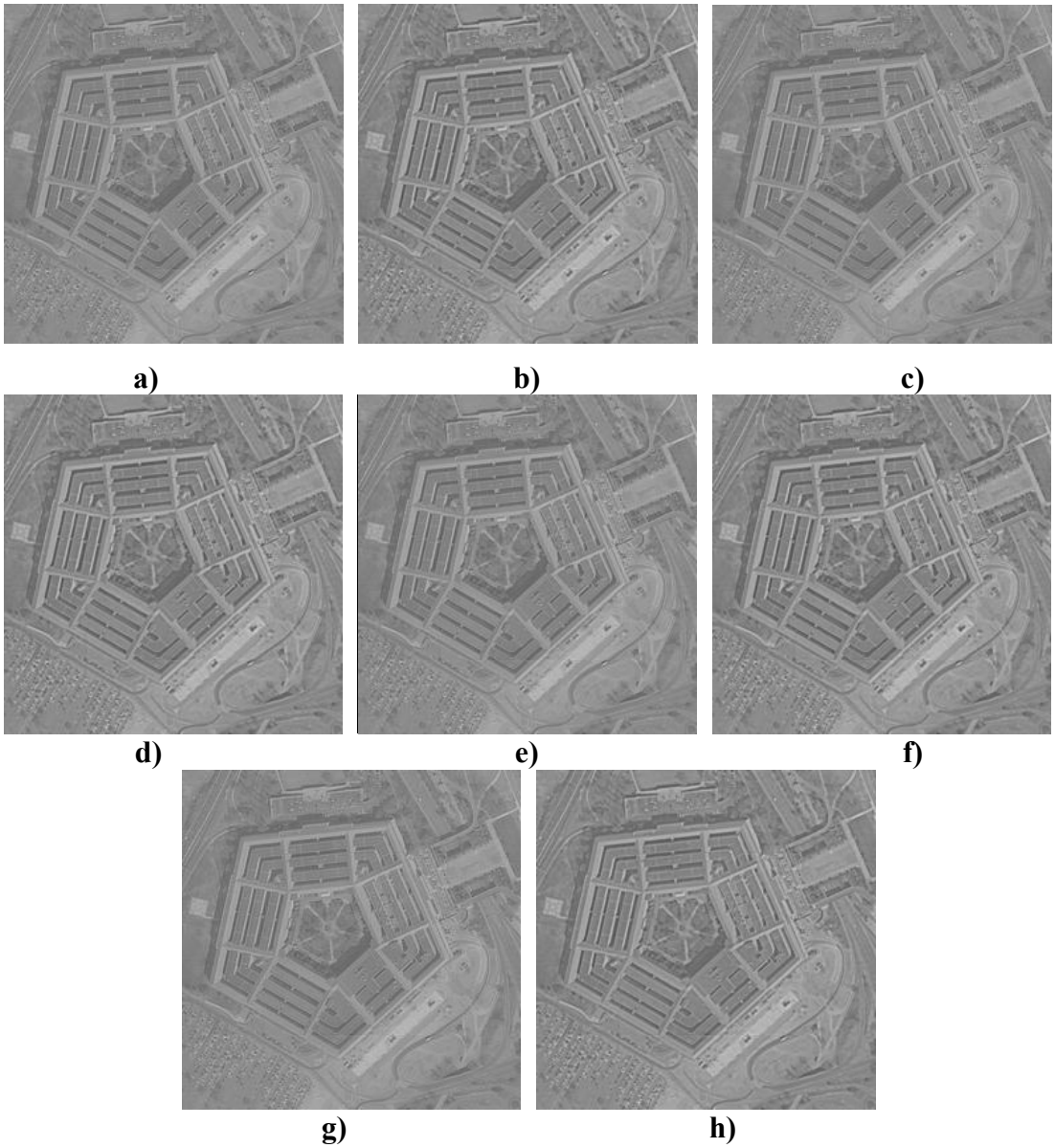


Şekil A.3. w_{s1}=0.22 π , w_{s2}=0.22 π kesim frekanslarında 2 boyutlu filtre tasarımı

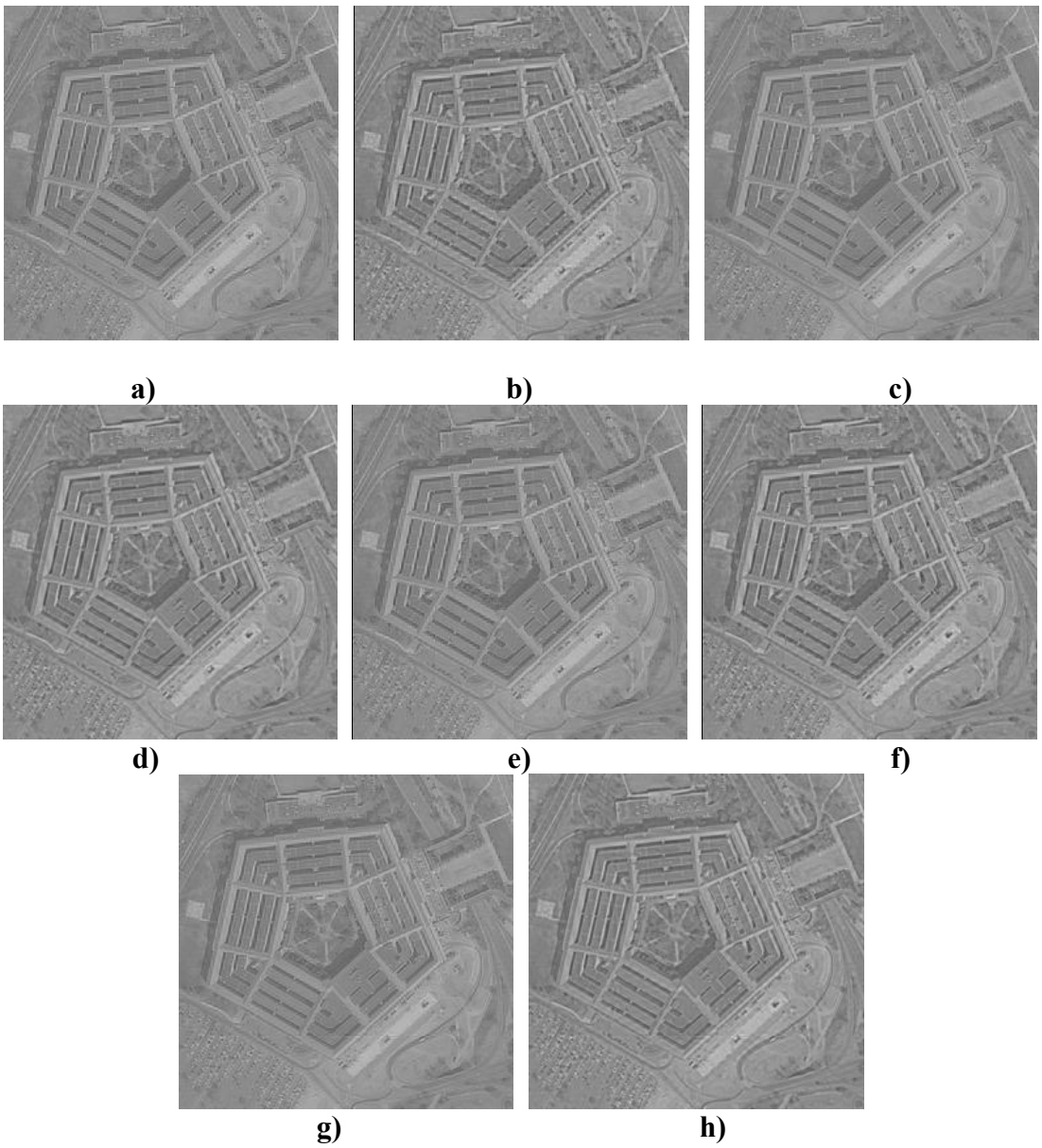


Şekil A.4. Tek boyutlu süzgeç bankasından elde edilen 2 boyutlu süzgeç bankasının frekans cevapları

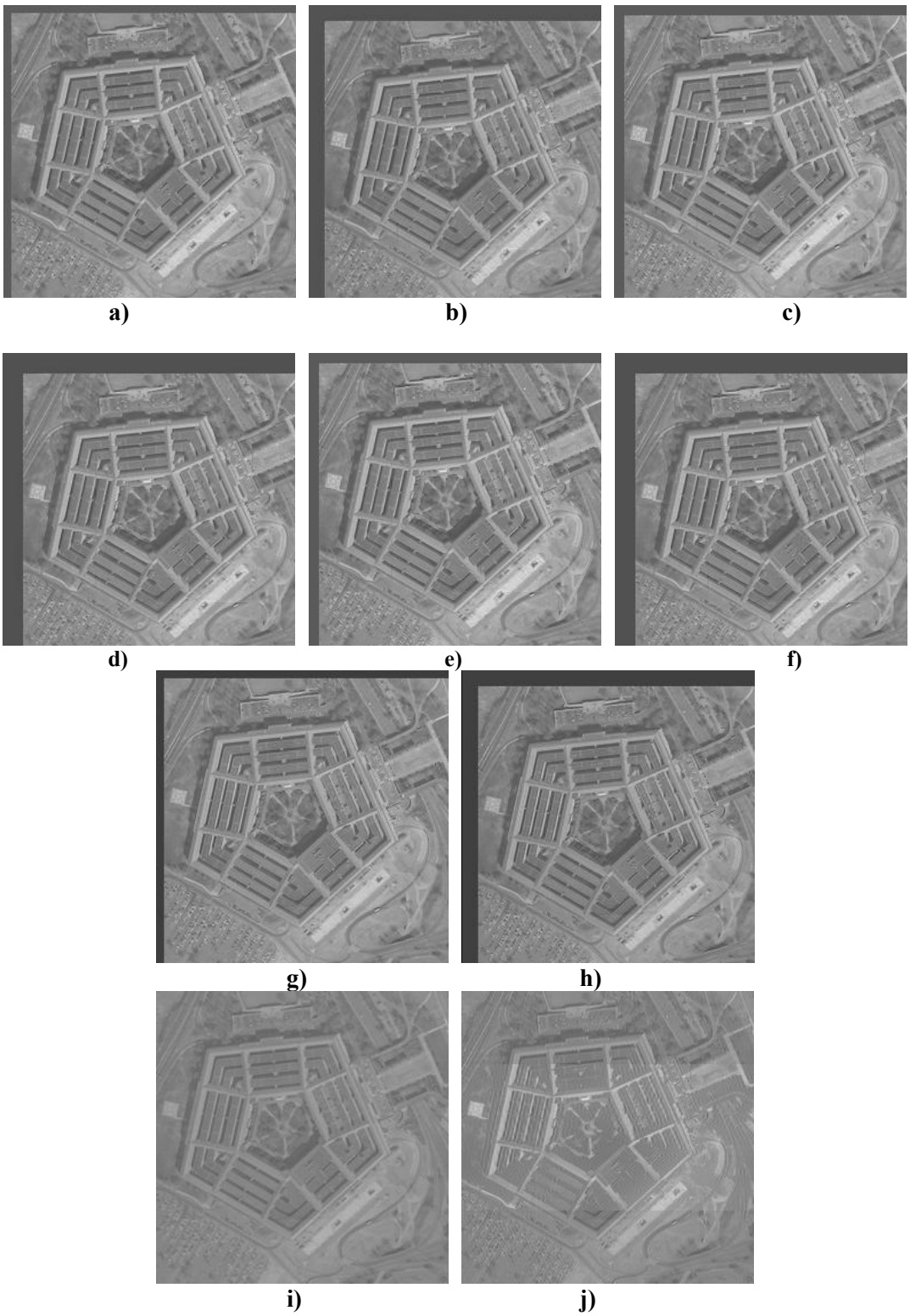
EK B



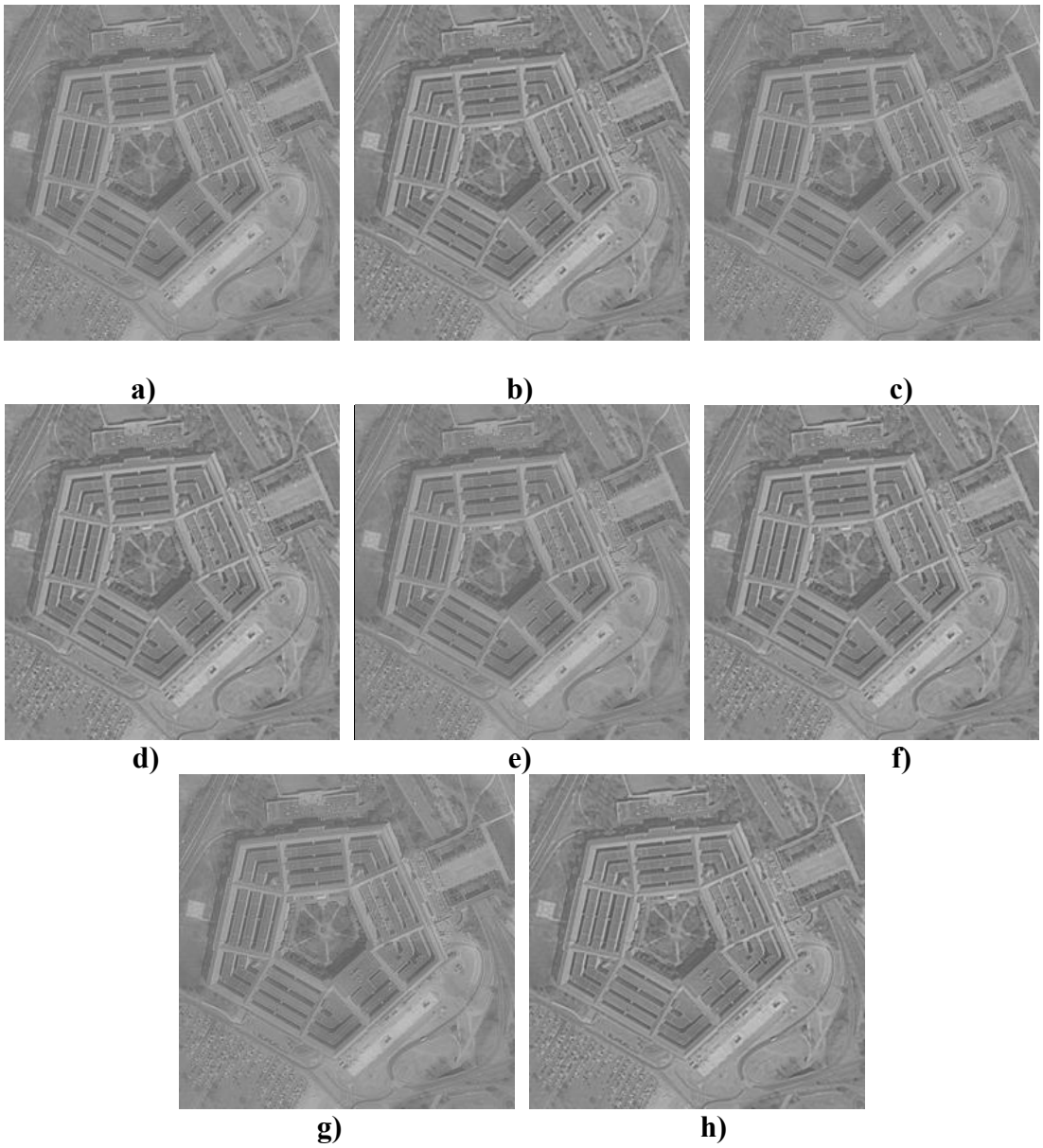
Şekil B.1. İlk test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları **a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



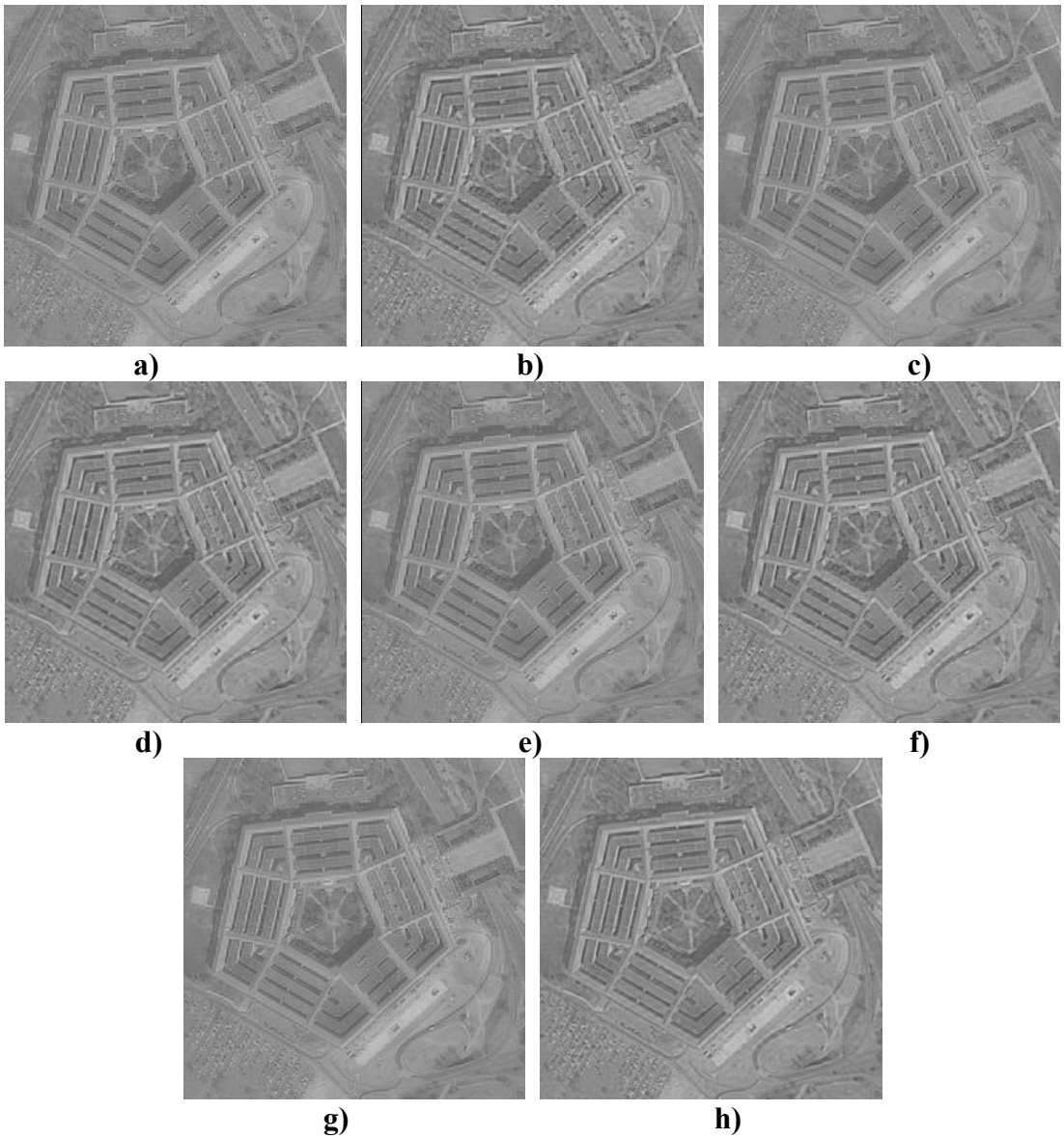
Şekil B.2. İlk test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları **a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



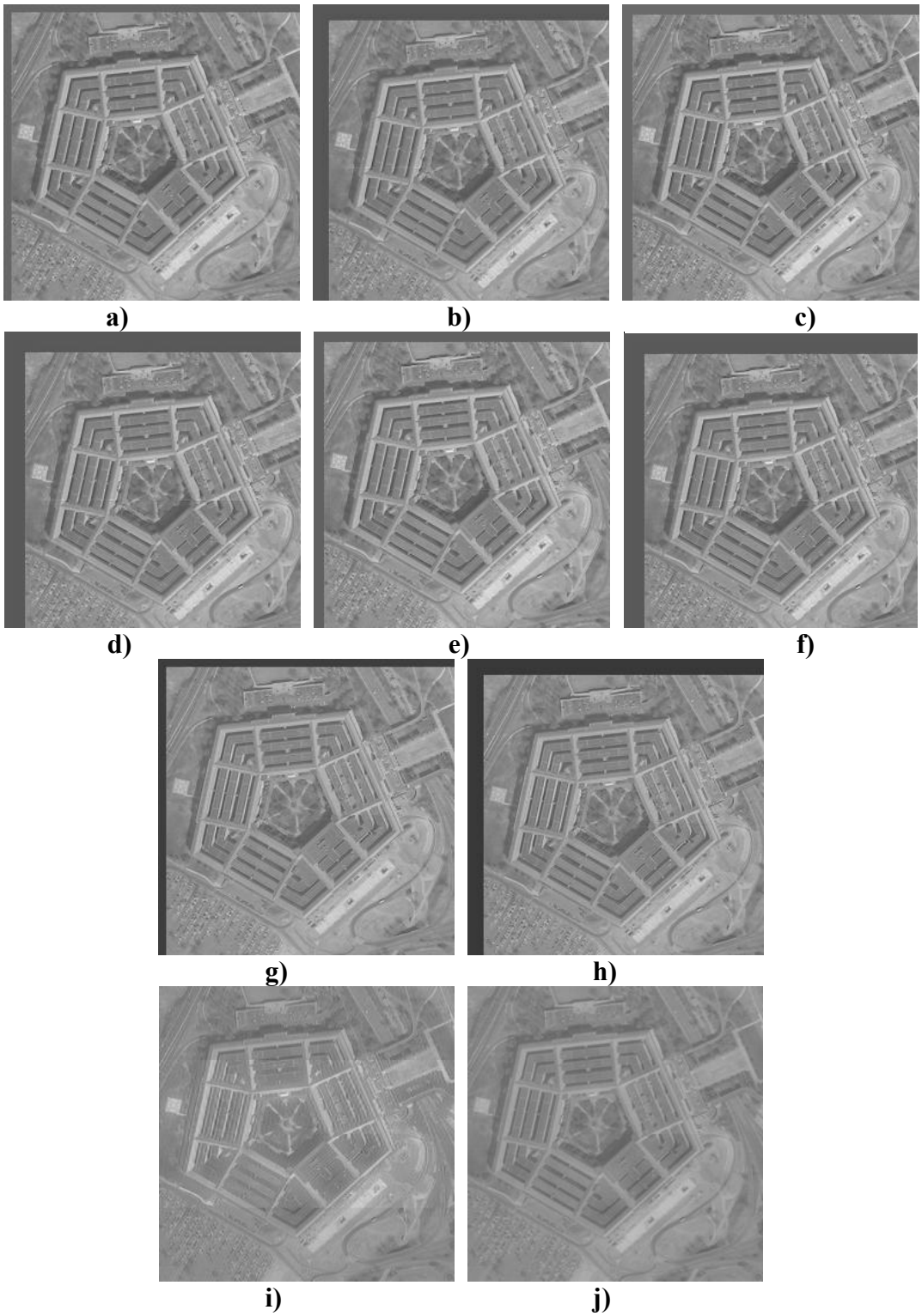
Şekil B.3. İlk test kümesi için Kafes süzgeç yapılı ve DFT/RDFT füzyon sonuçları **a)** 0.22 π -0.22 π ile tek seviye **b)** 0.22 π -022 π ile iki seviye **c)** 0.78 π -0.78 π ile tek seviye **d)** 0.78 π -0.78 π ile iki seviye **e)** 0.22 π -0.78 π ile tek seviye f**)** 0.22 π -78 π ile iki seviye **g)** 1 boyutlu süzgeç ile tek seviye **h)** 1 boyutlu süzgeç ile iki seviye **i)** RDFT ile tek seviye **j)** RDFT ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



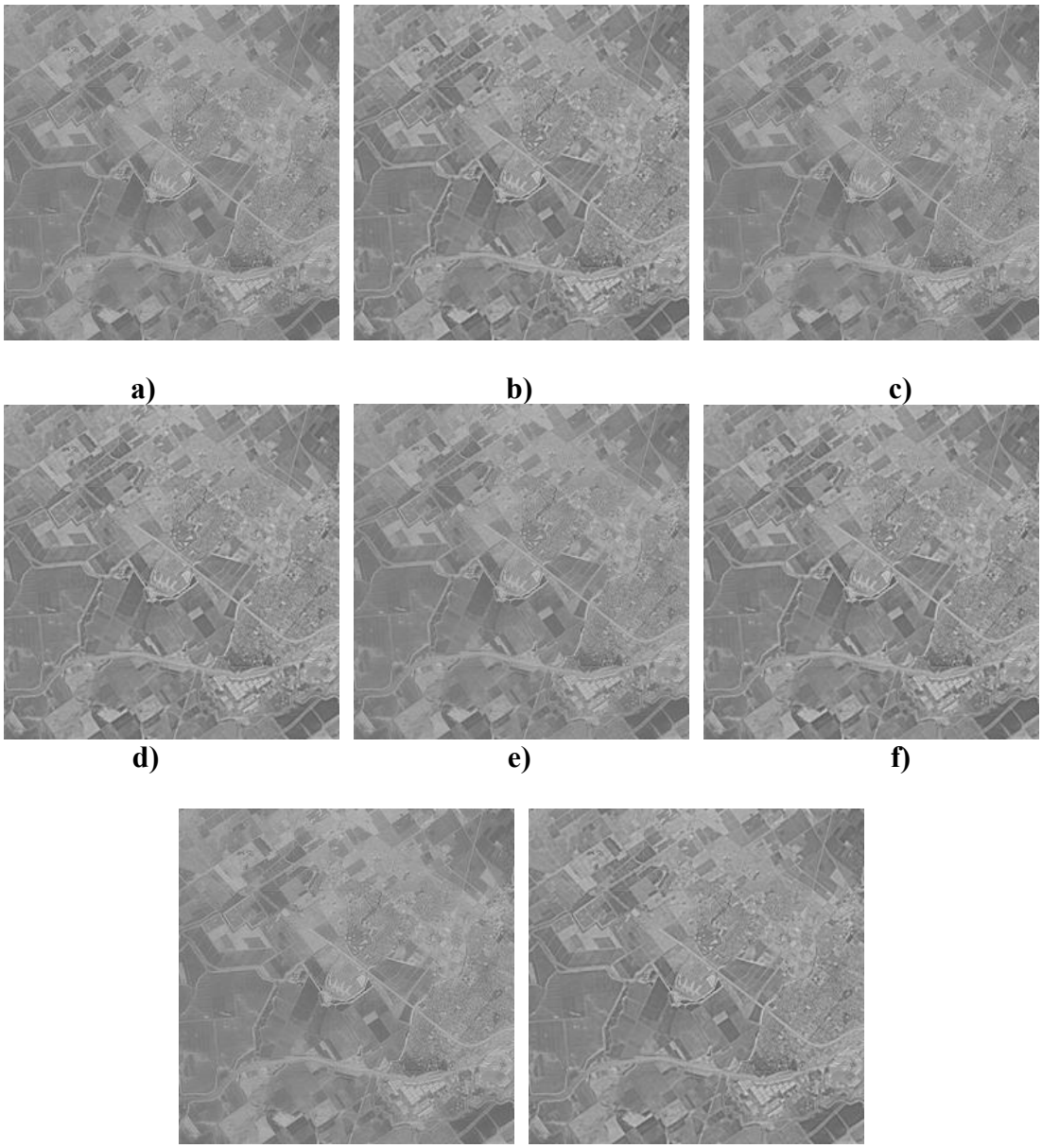
Şekil B.4. İkinci test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları **a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



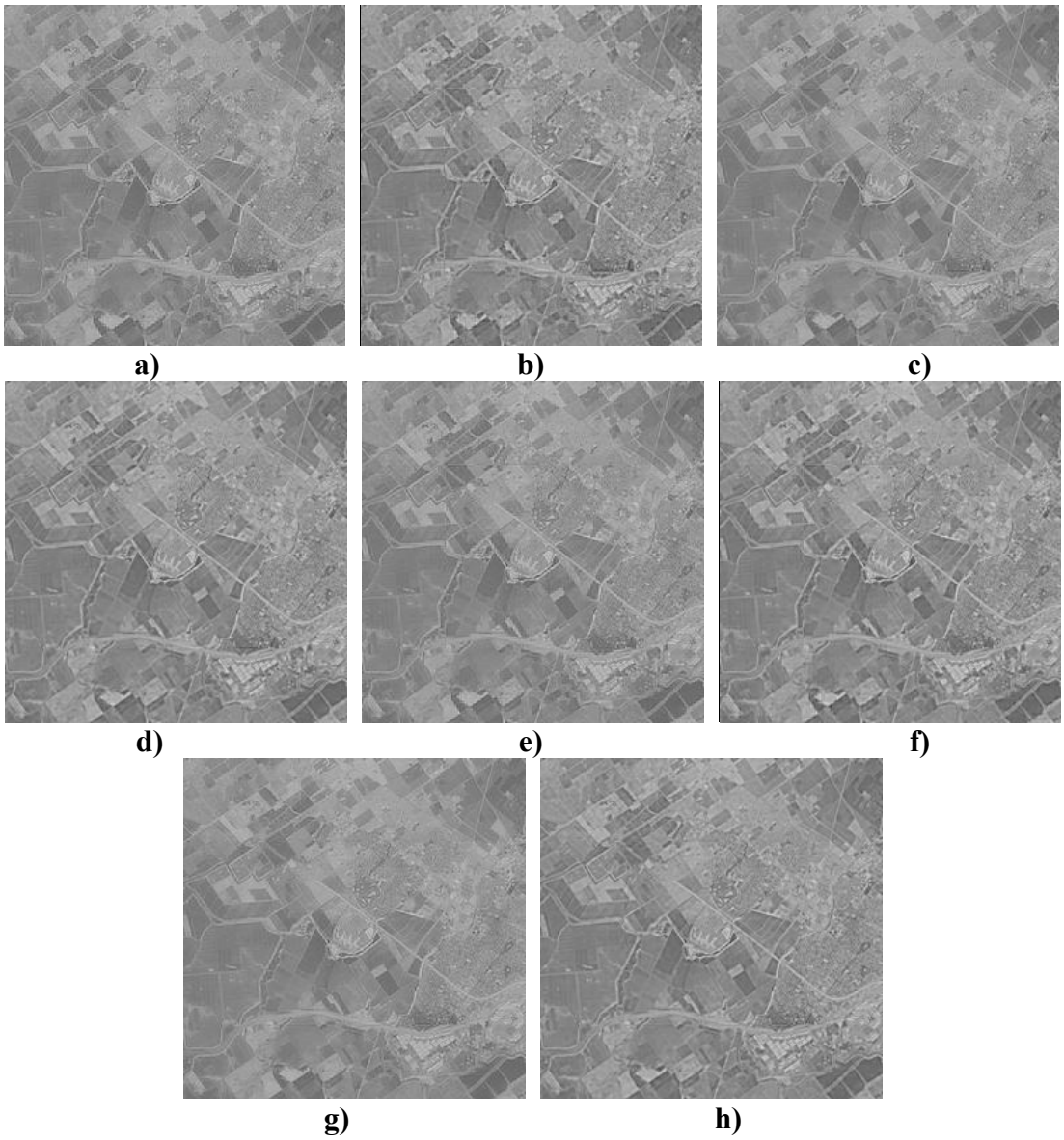
Şekil B.5. İkinci test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları **a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



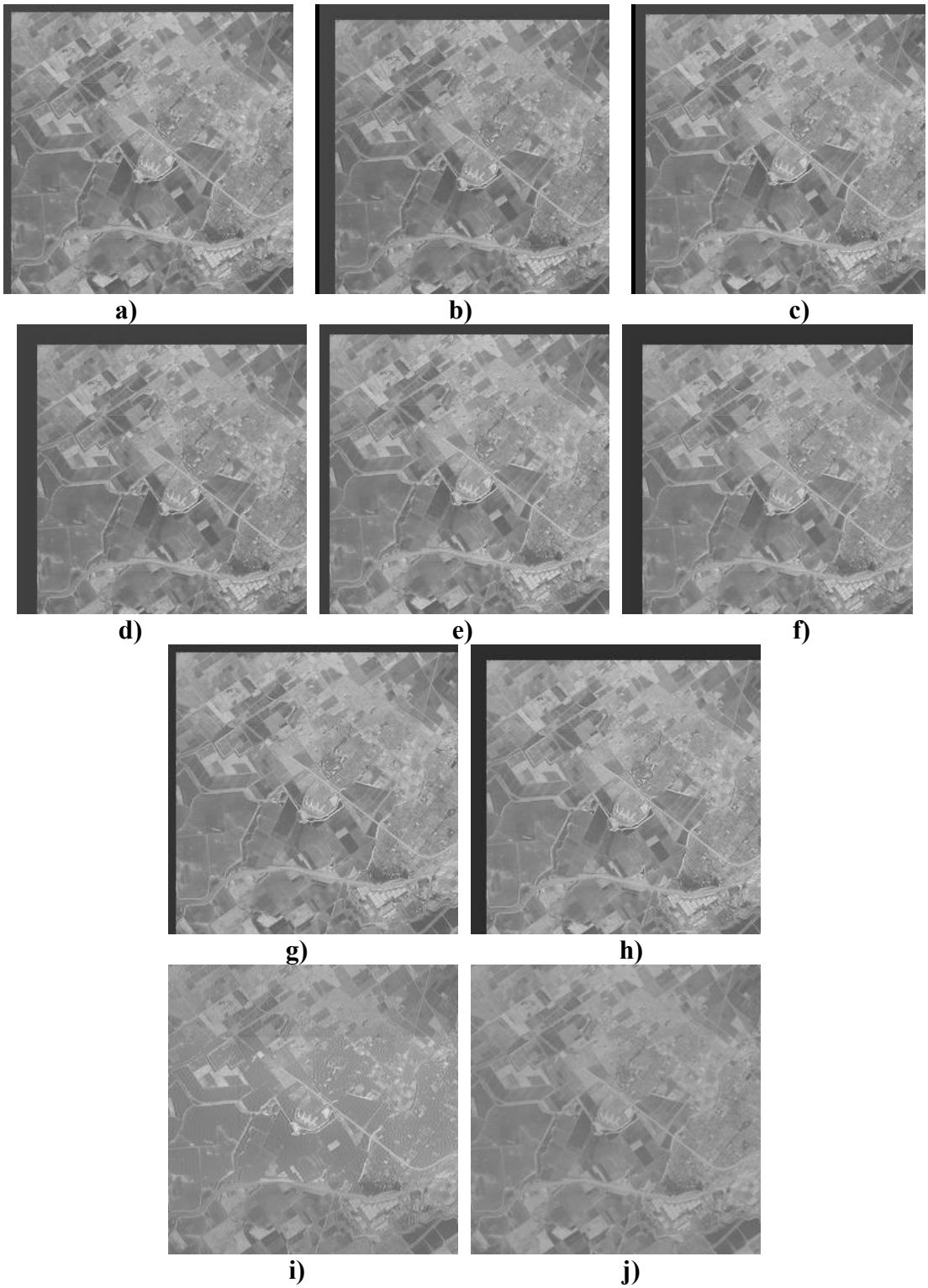
Şekil B.6. İkinci test kümesi için Kafes süzgeç yapılı füzyon sonuçları **a)** 0.22 π - 0.22 π ile tek seviye **b)** 0.22 π -022 π ile iki seviye **c)** 0.78 π -0.78 π ile tek seviye **d)** 0.78 π -0.78 π ile iki seviye **e)** 0.22 π -0.78 π ile tek seviye f**)** 0.22 π -78 π ile iki seviye **g)** 1 boyutlu süzgeç ile tek seviye **h)** 1 boyutlu süzgeç ile iki seviye **i)** RDFT ile tek seviye **j)** RDFT ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



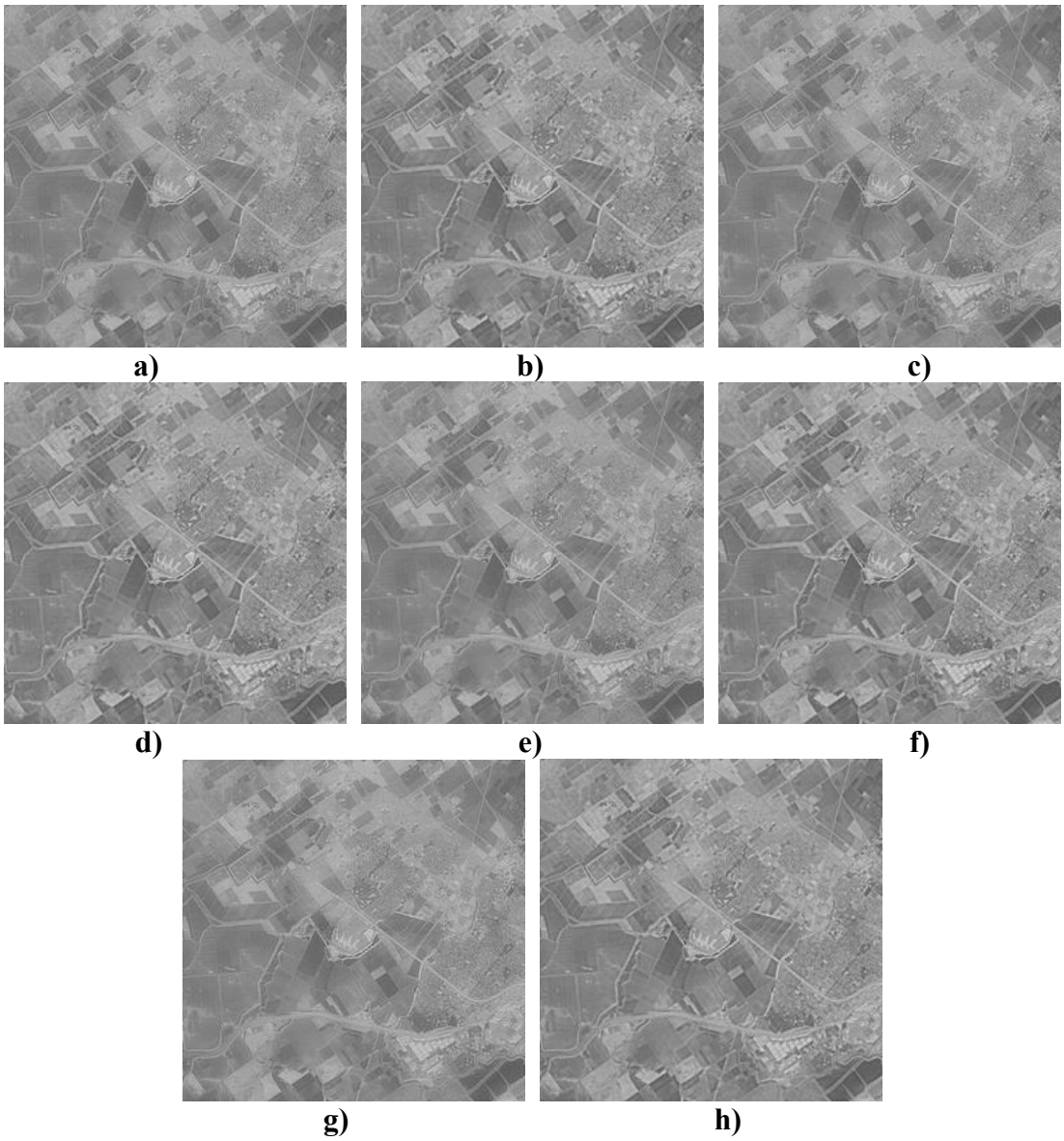
Şekil B.7. Üçüncü test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları **a a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



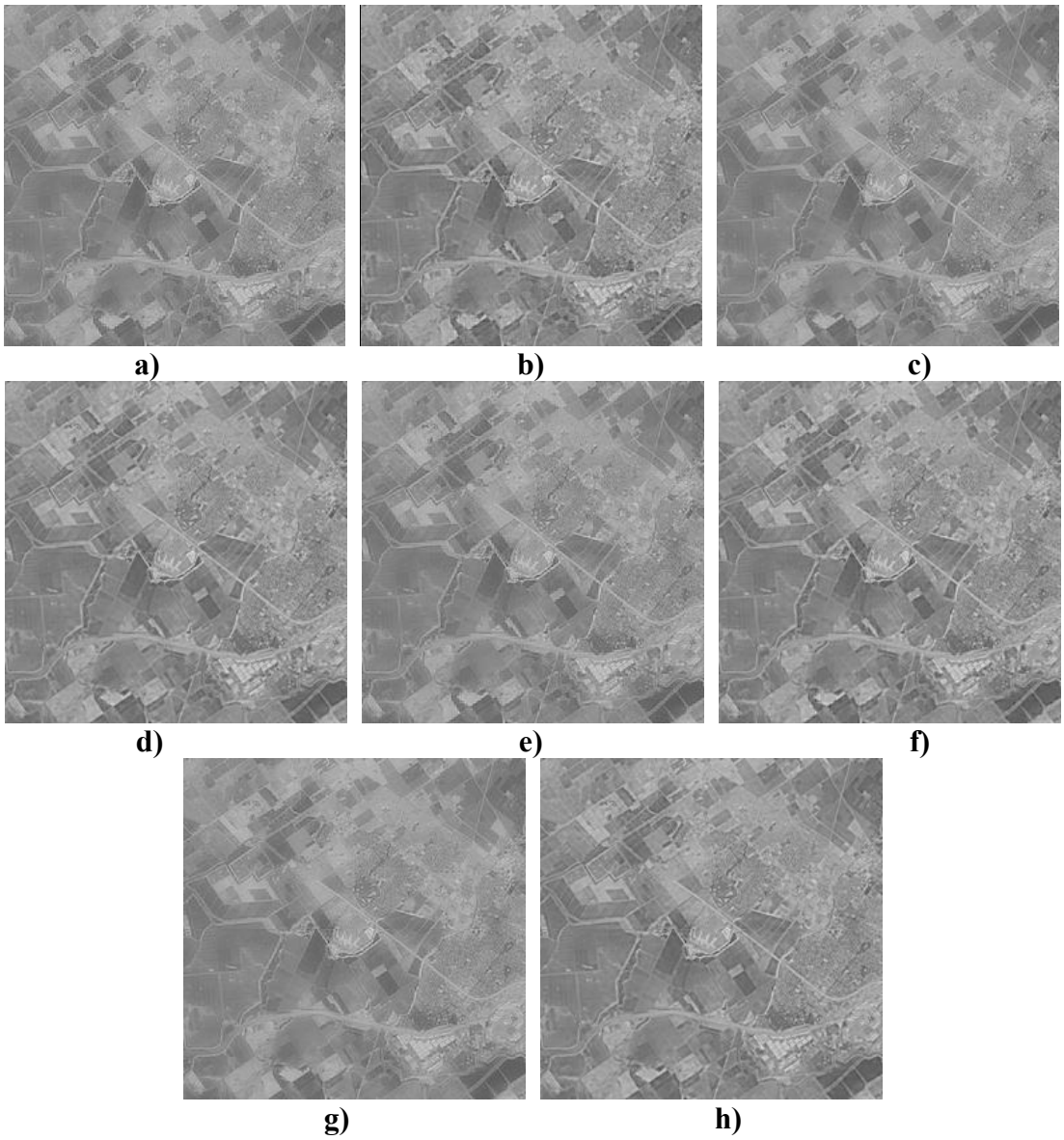
Şekil B.8. Üçüncü test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları **a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



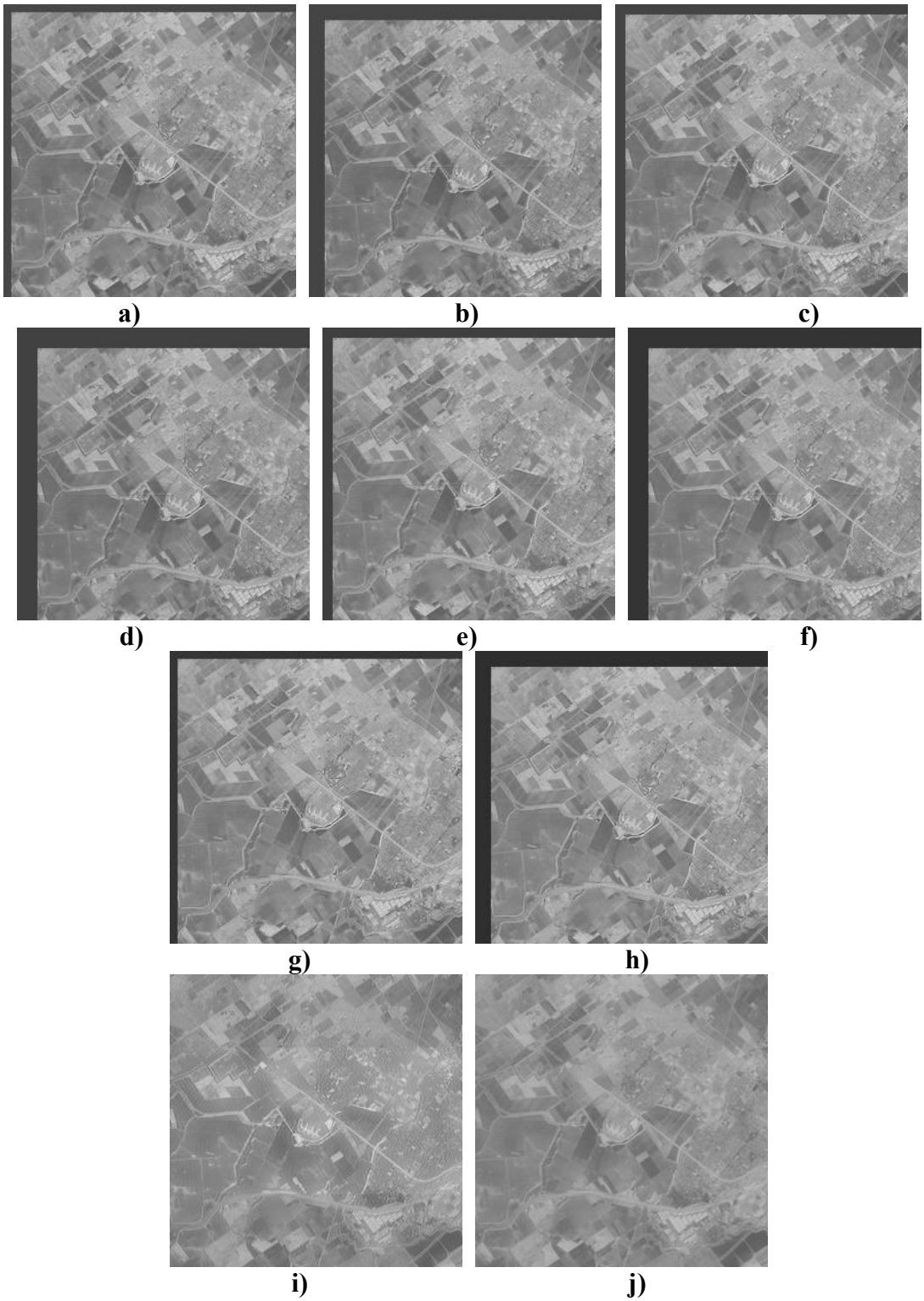
Şekil B.9. Üçüncü test kümesi için Kafes süzgeç yapılı füzyon sonuçları **a)** 0.22 π -0.22 π ile tek seviye **b)** 0.22 π -022 π ile iki seviye **c)** 0.78 π -0.78 π ile tek seviye **d)** 0.78 π -0.78 π ile iki seviye **e)** 0.22 π -0.78 π ile tek seviye f**)** 0.22 π -78 π ile iki seviye **g)** 1 boyutlu süzgeç ile tek seviye **h)** 1 boyutlu süzgeç ile iki seviye **i)** RDFT ile tek seviye **j)** RDFT ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



Şekil B.10. Dördüncü test kümesi için SWT tabanlı füzyon sonuçları **a a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



Şekil B.11. Dördüncü test kümesi için DWT tabanlı füzyon sonuçları **a)** bior1.3 ile tek seviye **b)** bior1.3 ile iki seviye **c)** bior2.2 ile tek seviye **d)** bior2.2 ile iki seviye **e)** db1 ile tek seviye **f)** db1 ile iki seviye **g)** db4 ile tek seviye **h)** db4 ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler



Şekil B.12. Dördüncü test kümesi için Kafes süzgeç yapılı füzyon sonuçları **a)** 0.22 π -0.22 π ile tek seviye **b)** 0.22 π -022 π ile iki seviye **c)** 0.78 π -0.78 π ile tek seviye **d)** 0.78 π -0.78 π ile iki seviye **e)** 0.22 π -0.78 π ile tek seviye f**)** 0.22 π -78 π ile iki seviye **g)** 1 boyutlu süzgeç ile tek seviye **h)** 1 boyutlu süzgeç ile iki seviye **i)** RDFT ile tek seviye **j)** RDFT ile iki seviye sonunda elde edilen görüntüler

Tablo B.1 İlk test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri

Dalgacık Fonksiyonu	Dalga Şekilleri	Seviye	RMSE	PSNR
DWT	db1	1. seviye	10.0243	28.1098
		2. seviye	8.2906	29.7591
	db4	1. seviye	10.4312	27.7641
		2. seviye	9.0409	29.0065
	bior1.3	1. seviye	10.6570	27.5781
		2. seviye	9.4539	28.6186
	bior2.2	1. seviye	10.2355	27.9287
		2. seviye	8.6886	29.3519
SWT	db1	1. seviye	9.4180	28.6516
		2. seviye	7.3580	30.7956
	db4	1. seviye	10.2030	27.9563
		2. seviye	8.6436	29.3969
	bior1.3	1. seviye	9.9829	28.1457
		2. seviye	8.2544	29.7971
	bior2.2	1. seviye	9.9447	28.1790
		2. seviye	8.1961	29.8587

Kafes Süzgeçler	Kesim Frekansları	Seviye	RMSE	PSNR
1. ve 3. yöntem	.78 pi	1. seviye	7.6499	30.4577
		2. seviye	6.7927	31.4900
2. yöntem	.78 pi	1. seviye	9.3046	28.7568
		2. seviye	8.4698	29.5733
	.22 pi - .78 pi	1. seviye	9.1924	28.8622
		2. seviye	8.6789	29.3615
	.22 pi	1. seviye	7.7454	30.3499
		2. seviye	7.4672	30.6676
RDFT		1. seviye	13.4487	25.5572
		2. seviye	11.0811	27.2391

Tablo B.2. İkinci test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri

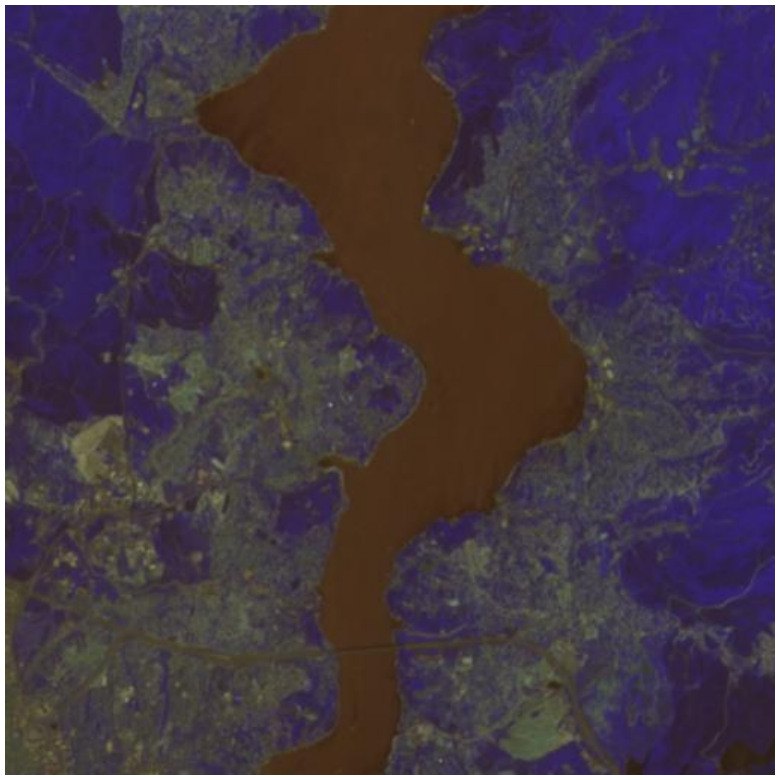
Dalgacık Fonksiyonu	**Dalga Şekilleri**	**Seviye**	**RMSE**	**PSNR**
DWT	db1	1. seviye	9.2182	28.8379
		2. seviye	7.3044	30.8591
	db4	1. seviye	9.6930	28.4017
		2. seviye	8.1276	29.9316
	bior1.3	1. seviye	9.8929	28.2244
		2. seviye	8.6012	29.4395
	bior2.2	1. seviye	9.4747	28.5995
		2. seviye	7.7434	30.3522
SWT	db1	1. seviye	8.6049	29.4359
		2. seviye	6.3131	32.1260
	db4	1. seviye	9.4501	28.6221
		2. seviye	7.7397	30.3563
	bior1.3	1. seviye	9.2129	28.8429
		2. seviye	7.3057	30.8576
	bior2.2	1. seviye	9.1756	28.8781
		2. seviye	7.2382	30.9382
Kafes Süzgeçler	**Kesim Frekansları**	**Seviye**	**RMSE**	**PSNR**
1. ve 3. yöntem	0.78 π	1. seviye	8.3929	29.6526
		2. seviye	7.9136	30.1633
2. yöntem	0.78 π	1. seviye	7.6288	30.4816
		2. seviye	7.2296	30.9486
	0.22 π - 0.78 π	1. seviye	8.4333	29.6108
		2. seviye	7.8016	30.2871
	0.22 π	1. seviye	7.3745	30.7761
		2. seviye	6.7876	31.4965
RDFT		1. seviye	12.5854	26.1335
		2. seviye	10.3897	27.7987

Tablo B.3. Üçüncü test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri

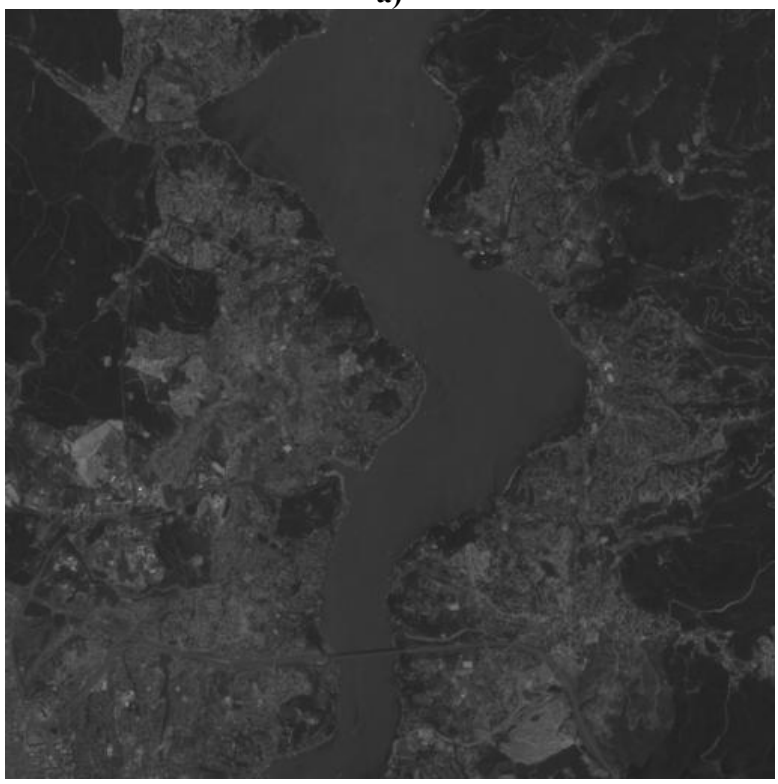
Dalgacık Fonksiyonu	**Dalga Şekilleri**	**Seviye**	**RMSE**	**PSNR**
DWT	db1	1. seviye	10.0736	28.0671
		2. seviye	8.6398	29.4007
	db4	1. seviye	10.4664	27.7348
		2. seviye	9.3114	28.7505
	bior1.3	1. seviye	10.6388	27.5930
		2. seviye	9.7445	28.3556
	bior2.2	1. seviye	10.2839	27.8876
		2. seviye	9.0137	29.0327
SWT	db1	1. seviye	9.5736	28.5093
		2. seviye	7.8492	30.2343
	db4	1. seviye	10.2514	27.9152
		2. seviye	8.9821	29.0632
	bior1.3	1. seviye	10.0734	28.0673
		2. seviye	8.6853	29.3551
	bior2.2	1. seviye	10.0331	28.1021
		2. seviye	8.6234	29.4172
Kafes Süzgeçler	**Kesim Frekansları**	**Seviye**	**RMSE**	**PSNR**
1. ve 3. yöntem	0.78 π	1. seviye	9.2107	28.8450
		2. seviye	8.3065	29.7425
2.yöntem	0.78 π	1. seviye	7.1650	31.0265
		2. seviye	6.9731	31.2622
	0.22 π - 0.78 π	1. seviye	7.8984	30.1800
		2. seviye	7.7649	30.3281
	0.22 π	1. seviye	7.8125	30.2750
		2. seviye	6.7516	31.5426
RDFT		1. seviye	12.6880	26.0629
		2. seviye	11.0928	27.2300

Tablo B.4. Dördüncü test kümesiyle elde edilen füzyon sonuçlarının kalite ölçütleri

Dalgacık Fonksiyonu	**Dalga Şekilleri**	**Seviye**	**RMSE**	**PSNR**
DWT	db1	1. seviye	8.8487	29.1932
		2. seviye	7.2067	30.9761
	db4	1. seviye	9.3059	28.7557
		2. seviye	7.9539	30.1192
	bior1.3	1. seviye	9.4742	28.6000
		2. seviye	8.4206	29.6240
	bior2.2	1. seviye	9.0975	28.9524
		2. seviye	7.6162	30.4961
SWT	db1	1. seviye	8.3211	29.7272
		2. seviye	6.3350	32.0960
	db4	1. seviye	9.0825	28.9667
		2. seviye	7.6409	30.4679
	bior1.3	1. seviye	8.8781	29.1644
		2. seviye	7.2772	30.8915
	bior2.2	1. seviye	8.8363	29.2054
		2. seviye	7.2095	30.9727
Kafes Süzgeçler	**Kesim Frekansları**	**Seviye**	**RMSE**	**PSNR**
1. ve 3. yöntem	0.78 π	1. seviye	9.6626	28.4289
		2. seviye	8.7430	29.2976
2. yöntem	0.78 π	1. seviye	7.2874	30.8793
		2. seviye	6.9823	31.2508
	0.22 π - 0.78 π	1. seviye	7.7633	30.3299
		2. seviye	7.5915	30.5243
	0.22 π	1. seviye	8.0032	30.0655
		2. seviye	6.8308	31.4414
RDFT		1. seviye	11.3300	27.0462
		2. seviye	10.0158	28.1171

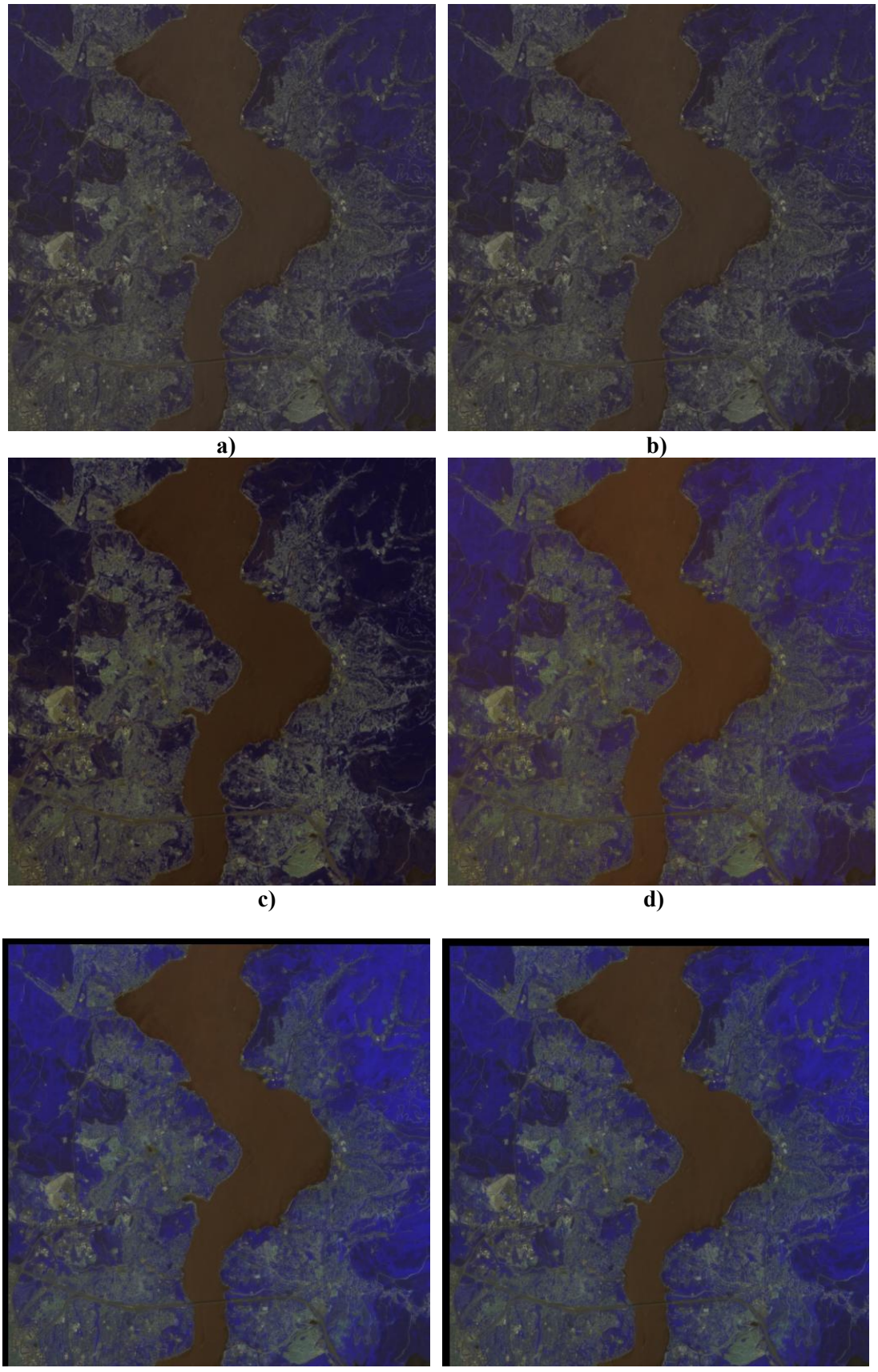


a)



b)

Şekil B.13. SPOT uydusu görüntüleri **a)** MS bantlar **b)** PAN görüntü

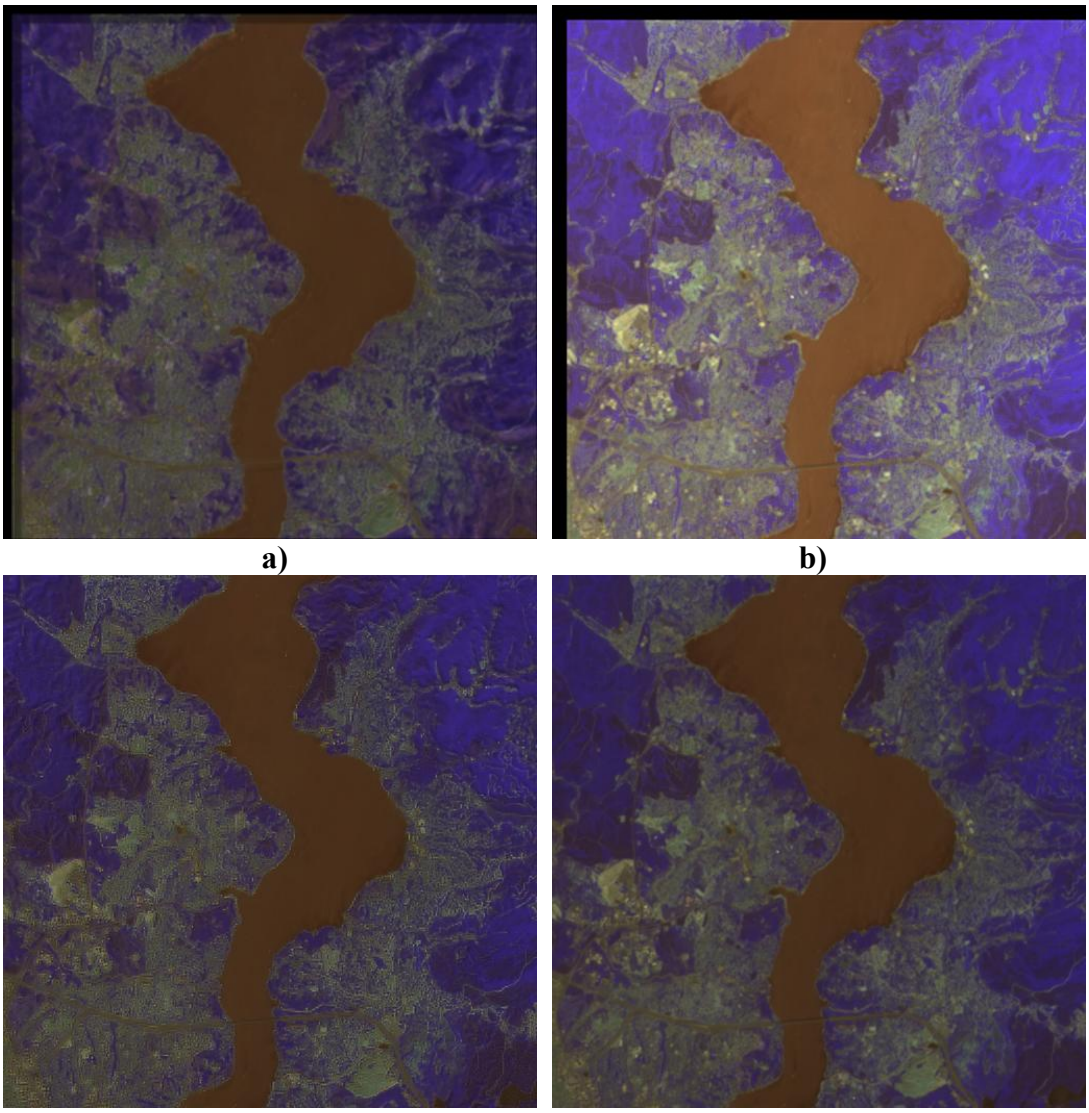


a) **b)**

c) **d)**

e) **f)**

Şekil B.14. Çeşitli füzyon yöntemleri sonucunda elde edilen görüntüler **a)** DWT **b)** SWT **c)** IHS **d)** RDFT **e)** Kafes Yöntem I ve III **f)** Kafes Yöntem II



a) **b)**

c) **d)**

Şekil B.15. Tümleşik füzyon yöntemleri sonucunda elde edilen görüntüler **a)** Kafes – IHS 1. yöntem **b)** Kafes – IHS 2. yöntem **c)** Wavelet-IHS 1. yöntem **d)** Wavelet-IHS 1. yöntem

ÖZGEÇMİŞ

Nur Hüseyin KAPLAN, 29.11.1982 yılında Diyarbakır' da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini 1988-2000 yılları arasında Diyarbakır' da tamamladı. 2005 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2005 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Telekomünikasyon Mühendisliği Yüksek Lisans programına kabul edildi.