

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ ÇOKLU ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GÖRÜNTÜ AYRIŞIMLARI İLE ÇOKLU
SPEKTRAL VE PANKROMATİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN FÜZYONU**

DOKTORA TEZİ

Nur Hüseyin KAPLAN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

NİSAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ ÇOKLU ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GÖRÜNTÜ AYRIŞIMLARI İLE ÇOKLU
SPEKTRAL VE PANKROMATİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN FÜZYONU**

DOKTORA TEZİ

**Nur Hüseyin KAPLAN
(504082304)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Işın ERER

NİSAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 5040820304 numaralı Doktora Öğrencisi Nur Hüseyin KAPLAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YENİ ÇOKLU ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GÖRÜNTÜ AYRIŞIMLARI İLE ÇOKLU SPEKTRAL VE PANKROMATİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN FÜZYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Işın ERER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sedef KENT PINAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah BAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Serdar KARGIN
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **13 Nisan 2015**

ÖNSÖZ

Doktora 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.

Nisan 2015

Nur Hüseyin KAPLAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Görüntü Füzyonu Tanımı	1
1.2 Literatürde Kullanılan Pankeskinleştirme Yöntemleri	2
1.3 Tezin Katkıları.....	6
2. PANKESKİNLEŞTİRME SONUÇLARININ NİCEL	
KARŞILAŞTIRILMASI	9
2.1 Kullanılan Görüntüler	9
2.2 Nicel Analiz Kriterleri.....	9
2.2.1 RMSE (root mean square error–ortalama karesel hatanın karekökü).....	10
2.2.2 CC (Korelasyon katsayısı)	10
2.2.3 RM (Ortalama Değerdeki Bağlı Kayma)	10
2.2.4 SAM (Spektral Açısız Hata)	11
2.2.5 ERGAS (The Relative Global Dimensional Synthesis Error)	11
2.2.6 SERGAS (The Spatial Relative Global Dimensional Synthesis Error)	11
2.2.7 Q (Universal Image Quality Index) ve Q4.....	12
2.2.8 QNR	12
2.3 Referans Görüntü Oluşturma	13
3. ÇOKLU SPEKTRAL (MS) VE PANKROMATİK (PAN) GÖRÜNTÜLER	
İÇİN FÜZYON YÖNTEMLERİ	15
3.1 IHS (Intensity-Hue-Saturation) Dönüşümü Tabanlı Füzyon	15
3.1.1 IHS dönüşümü.....	15
3.1.2 IHS füzyon yöntemi	16
3.2 PCA Tabanlı Füzyon	18
3.3 Toplamsal Dalgacık Dönüşümü (ATWT) ile Füzyon Yöntemleri.....	20
3.3.1 Yer Değiştirme Metodu (SW).....	21
3.3.2 Toplamsal ATWT Metodu (AW)	22
3.3.3 Yoğunluk (Intensity) Bileşenine Ekleme Yöntemi (AWL)	23
3.3.4 Oransal Luminans-Additive Wavelet Luminance Proportional (AWLP). 23	
3.3.5 Geliştirilmiş AWLP (IAWP)	24
3.3.6 Context Based Decision Enjeksiyonuyla Füzyon (CBD)	25
3.3.7 Geliştirilmiş Context Based Decision Enjeksiyonuyla Füzyon (ECB).....	26
4. BİLATERAL SÜZGEÇLER İLE PANKESKİNLEŞTİRME.....	29
4.1 Bilateral Süzgeçler	29
4.2 Çokluçözünürlük Bilateral Süzgeçler ile Görüntü Ayrıştırma ve Birleştirme ..	31

4.3 Önerilen Çokluçözünürlük Bilateral Süzgeçlere Dayalı Pankeskinleştirme Yöntemleri	32
4.3.1 Yer değiştirme metodu (BFS)	33
4.3.2 Toplamsal metot (BFA)	34
4.3.3 Oransal Luminans Yöntemi (BFLP)	36
4.3.4 Parametre Seçimi.....	37
4.3.5 Uyarlamalı Toplamsal Metot (ABFA)	40
5. AĞIRLIKLANDIRILMIŞ ATWT İLE PANKESKİNLEŞTİRME.....	45
5.1 Ağırlıklandırılmış ATWT (WATWT).....	45
5.2 Ağırlıklandırılmış ATWT (WATWT) ile Görüntü Ayırıştırma/Birleştirme	46
5.3 WATWT Tabanlı Pankeskinleştirme	47
5.3.1 Parametre seçimi	47
5.3.2 Yer değiştirme metodu (WSW).....	49
5.3.3 Toplamsal metot (WAW).....	50
5.3.4 Oransal Luminans Yöntemi (WAWLP).....	52
5.3.5 Uyarlamalı Toplamsal Metot(AWAW)	53
6. GÖRÜNTÜ FÜZYONU UYGULAMALARI.....	57
6.1 SPOT Görüntüleri İçin Sonuçlar	57
6.2 IKONOS için Sonuçlar.....	72
6.3 Quickbird için Sonuçlar.....	85
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	119

KISALTMALAR

PAN	: Pankromatik
MS	: Çoklu spektral (Multispectral)
RGB	: Kırmızı Yeşil Mavi Çokluçözünürlük Bantları
NIR	: Yakın Kızılötesi
SWIR	: Kısa Dalga Kızılötesi
IHS	: Parlaklık Ton Doygunluk Dönüşümü
GIHS	: Genelleştirilmiş IHS Yöntemi
PCA	: Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis)
DWT	: Ayırık Dalgacık Dönüşümü
IDWT	: Ters Ayırık Dalgacık Dönüşümü
ATWT	: Toplamsal Dalgacık Dönüşümü
SW	: ATWT Yerdeğiştirme Metodu
AW	: ATWT Toplamsal Metot
AWLP	: ATWT Oransal Luminans Yöntemi
CBD	: Doku Tabanlı Karar (Context Based Decision) Yöntemi
ECB	: Geliştirilmiş CBD (Enhanced CBD) Yöntemi
BF	: Bilateral Süzgeç
BFS	: Bilateral Süzgeç Yerdeğiştirme Metodu
BFA	: Bilateral Süzgeç Toplamsal Metot
BFLP	: Bilateral Süzgeç Oransal Luminans Metodu
ABFA	: Uyarlamalı Bilateral Süzgeç Metodu
WATWT	: Ağırlıklandırılmış Toplamsal Dalgacık Dönüşümü
BFS	: WATWT Yerdeğiştirme Metodu
BFA	: WATWT Toplamsal Metot
BFLP	: WATWT Oransal Luminans Metodu
ABFA	: Uyarlamalı WATWT Metodu
RMSE	: Ortalama Karesel Hatanın Karekökü
CC	: Korelasyon Katsayısı
RM	: Ortalama Bağlı (Spektral) Kayma
ERGAS	: Global Boyutsal Sentez Hatası
SAM	: Spektral Açısıl Hata
SERGAS	: Uzamsal ERGAS
Q4	: Ünlversal Kalite Kriteri
SERGAS	: Uzamsal ERGAS
QNR	: Referanssız Kalite Kriteri
MMSE	: Minimum Ortalama Karesel Hata
MTF	: Modülasyon Transfer Fonksiyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Uydulara ait görüntülerin özellikleri.	9
Çizelge 6.1 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.	63
Çizelge 6.2 : Füzyon yöntemlerine ait CC değerleri.	64
Çizelge 6.3 : Füzyon yöntemlerine ait RM değerleri.	65
Çizelge 6.4 : Füzyon yöntemlerine ait SAM, ERGAS, SERGAS, Q4 değerleri.	66
Çizelge 6.5 : Füzyon yöntemlerine ait D_λ , D_S ve QNR değerleri.	71
Çizelge 6.6 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.	77
Çizelge 6.7 : Füzyon yöntemlerine ait CC değerleri.	78
Çizelge 6.8 : Füzyon yöntemlerine ait RM değerleri.	79
Çizelge 6.9 : Füzyon yöntemlerine ait SAM, ERGAS, SERGAS, Q4 değerleri.	80
Çizelge 6.10 : Füzyon yöntemlerine ait D_λ , D_S ve QNR değerleri.....	84
Çizelge 6.11 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.	91
Çizelge 6.12 : Füzyon yöntemlerine ait CC değerleri.	92
Çizelge 6.13 : Füzyon yöntemlerine ait RM değerleri.	93
Çizelge 6.14 : Füzyon yöntemlerine ait SAM, ERGAS, SERGAS, Q4 değerleri. ...	94
Çizelge 6.15 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.	100
Çizelge 6.16 : Füzyon yöntemlerine ait CC değerleri.	101
Çizelge 6.17 : Füzyon yöntemlerine ait RM değerleri.	102
Çizelge 6.18 : Füzyon yöntemlerine ait SAM, ERGAS, SERGAS, Q4 değerleri. .	103
Çizelge 6.19 : Füzyon yöntemlerine ait D_λ , D_S ve QNR değerleri.	107

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : IHS görüntü füzyonu diyagramı.....	16
Şekil 3.2 : PCA görüntü füzyonu diyagramı.	19
Şekil 4.1 : a) $\sigma_s = 100$ b) $\sigma_s = 0.001$ c) $\sigma_r = 100$ d) $\sigma_r = 0.001$ değerlerine göre süzgeç çıkışları.	31
Şekil 4.2 : Çokluçözünürlük Bilateral Süzgeçler ile Görüntü Ayırıştırma ve Birleştirme.....	32
Şekil 4.3 : BFS metoduna ait akış diyagramı.	34
Şekil 4.4 : BFA metoduna ait akış diyagramı.....	35
Şekil 4.5 : BFLP metoduna ait akış diyagramı.	36
Şekil 4.6 : Farklı uydulardan alınan görüntülerle oluşturulan görüntü kütüphanesi.	37
Şekil 4.7 : Değişen σ_s değerlerine karşılık değişen metrik değerleri.	38
Şekil 4.8 : Değişen σ_r değerlerine karşılık değişen metrik değerleri.	39
Şekil 4.9 : a) Değişen σ_s b) değişen σ_r değerlerine karşılık değişen normalize edilmiş ERGAS ve SERGAS değerleri.....	40
Şekil 4.10: ABFA yöntemine ait akış diyagramı.....	42
Şekil 4.11 : a) BFA yöntemi b) ABFA yöntemi için pankeskinleştirme sonuçları...	43
Şekil 5.1 : WATWT yöntemiyle görüntü ayırıştırma ve birleştirme.....	47
Şekil 5.2 : a) $\sigma_r = 0.01$ b) $\sigma_r = 0.2$ c) $\sigma_r = 0.5$ d) $\sigma_r = 2$ değerleriyle elde edilen füzyon sonuçları.	48
Şekil 5.3 : Değişen σ_r değerleriyle elde edilen normalize ERGAS ve SERGAS değerleri.....	49
Şekil 5.4 : WSW yöntemine ait akış diyagramı.....	50
Şekil 5.5 : WAW yöntemine ait akış diyagramı.	51
Şekil 5.6 : WAWLP yöntemine ait akış diyagramı.	53
Şekil 5.7 : AWAW yöntemine ait akış diyagramı.	54
Şekil 5.8 : a) WAW yöntemi b) AWAW yöntemi için pankeskinleştirme sonuçları.	55
Şekil 6.1 : SPOT görüntüsü için çözünürlük indirmek için kullanılan süzgeçler a) Yeşil b) Kırmızı c) Yakın kızıl ötesi d) Kısa dalga kızılötesi.....	58
Şekil 6.2 : a) PAN (5 m.), b) MS (10 m),c) orijinal MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.	59
Şekil 6.3 : a) PAN (2.5 m.), b) MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) ABFA r) AWAW.....	68
Şekil 6.4 : IKONOS görüntüsü için çözünürlük indirmek için kullanılan süzgeçler a) Kırmızı b) Yeşil c) Mavi d) Yakın kızılötesi.....	72
Şekil 6.5 : a) PAN (4 m.), b) MS (16 m),c) orijinal MS (4 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.	73

Şekil 6.6 :	a) PAN (1 m.), b) MS (4 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) AWAW.....	81
Şekil 6.7 :	Quickbird görüntüsü için çözünürlük indirmek için kullanılan süzgeçler a) Kırmızı b) Yeşil c) Mavi d) Yakın kızıl ötesi.....	85
Şekil 6.8 :	a) PAN (2.8 m.), b) MS (11.2 m), c) orijinal MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.....	86
Şekil 6.9 :	Füzyon yöntemlerinin MS görüntünün ilk bandına ilave ettikleri detay miktarları a) AW b) ECB c) ABFA d) AWAW.	90
Şekil 6.10 :	a) PAN (2.8 m.), b) MS (11.2 m), c) orijinal MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.....	95
Şekil 6.11:	Füzyon yöntemlerinin MS görüntünün ilk bandına ilave ettikleri detay miktarları a) AW b) ECB c) ABFA d) AWAW.	99
Şekil 6.12 :	a) PAN (0.7 m.), b) MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) AWAW.....	104

YENİ ÇOKLU ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GÖRÜNTÜ AYRIŞIMLARI İLE ÇOKLU SPEKTRAL VE PANKROMATİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN 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 (MS), ya da renk bilgisi olmayan, yüksek çözünürlükte görüntüler (PAN) elde ederler. Görüntü füzyonu, tam bu noktada devreye girerek, hem çözünürlüğü yüksek, hem renk bilgisi içeren yeni bir görüntünün elde edilmesini sağlar. MS ve PAN görüntünün füzyonu sonucunda amaçlanan şey MS görüntünün PAN aracılığıyla keskinleştirilmesi olduğu için, bu yöntemlere “pankeskinleştirme” de denmektedir.

Tarihi gelişim sürecinde, birçok pankeskinleştirme 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. Çokluçözünürlük yöntemiyle MS görüntüye detay ilavesi, ARSIS konsepti altında toparlanmıştır.

Bu çalışmada, çoklu çözünürlük yöntemleri arasında, yaygın olarak kullanılan A Trouş Dalgacık Dönüşümü tabanlı füzyon yöntemleri incelenmiştir. Bu dönüşüm yardımıyla elde edilen füzyon görüntülerinde detay ilavesinin genellikle aşırı olduğu bilinmektedir. Bu sorunu çözebilmek için geliştirilen yöntemlerde detay ilavesini azaltmak için çıkarılan detaylar katsayılar yardımıyla azaltılmaya çalışılmıştır. Bu yöntemler, genel olarak lokal ve global yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Lokal yöntemler, daha geniş detayların olduğu bölgelerde iyi sonuç verirken, global yöntemler daha küçük detayların olduğu bölgelerde iyi sonuç vermektedir.

Bilateral süzgeç yapılarının da ATWT gibi görüntüleri altbandlarına ayrıştırabildiği bilinmektedir. Bu çalışmada. Bilateral süzgeçleme için kullanılan parametreler yardımıyla görüntüden elde edilecek detay miktarlarını ayarlamak mümkün olduğundan, istenilen sonuçlara yaklaşmak daha kolay olabilmektedir. Bilateral süzgeçleri temel alan ve ATWT yöntemlerine karşı düşen global yöntemler önerilmiştir.

ATWT yöntemlerinde görüntüyü ağırlıklandırmak için ağırlıklandırılmış ATWT (WATWT) dönüşümünü baz alan yöntemler ele alınmıştır. Bu yöntemde, bilateral süzgecin konumsal parametresi kullanılırken, uzamsal parametresi yerine ATWT de kullanılan süzgeç yerleştirilmiştir. Bu sayede, parametre hesabı teke indirilerek, bilateral süzgeçlerden daha hızlı, bilateral süzgeçlerin performansına yakın global yöntemler önerilebilmiştir. WATWT yi temel alan bir lokal yöntem de önerilmiştir.

Önerilen yöntemler çokluspektral ve pankromatik uydu görüntülerinin füzyonu için kullanılmış ve tez çalışmasında incelenen diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar belli kriterlere göre değerlendirildiğinde, önerilen global yöntemlerin mevcut global yöntemlerden ve yine önerilen lokal yöntem mevcut lokal yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Önerilen lokal yöntemin sonuçları, ATWT tabanlı yöntemlerin iyi sonuçlar elde edemediği küçük detaylar içeren bölgelerde, daha tatmin edici sonuçlar aldığı gözlemlenmiştir.

FUSION OF MULTISPECTRAL AND PANCHROMATIC IMAGES VIA NEW MULTIREOLUTION IMAGE DECOMPOSITION

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 satellites or copies of a photograph having different corruptions are merged by using image fusion techniques to obtain the characteristics that cannot be obtained from original images alone. Including the complementary information of the original images, fused image has better characteristics than these images. As a result, it is possible to obtain improved images that 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 color information with low resolution; the other has high resolution without color information. At this point, image fusion is applied in order to develop an image having both high resolution and color information. Therefore, image fusion can be also named as choosing the best characteristics of the input images. The sensors used for image fusion are mostly panchromatic and multispectral sensors. Because the fusion result is a sharpened version of multispectral image by panchromatic image, the fusion is also named as pansharpening.

Considering the historical background of pansharpening, 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 the subband decomposition of the input images. Second step is merging the subbands by a rule predefined and the final step is reconstruction of the merged subbands.

The basic multiresolution methods are the intensity (I), hue (H), saturation (S) transform (IHS) and principal component analysis (PCA) based pansharpening. In IHS based method, the MS image is transformed via IHS transform. The intensity (I) component of MS image is replaced by the PAN image, whose histogram is matched with I component. Finally reverse IHS transform is applied to obtain the pansharpened image. In PCA method, the first component of MS image is replaced by the PAN image, similar way to the IHS method.

Wavelet transform based methods are the most widely used multiresolution methods. Conventional wavelet transform has downsampling and upsampling processes, which cause artifacts and some missing information in the pansharpened image. To overcome this problem, several wavelet transform based pansharpening algorithms are proposed. One of them is the A Trous Wavelet Transform. In this transform, to obtain the subbands of the image, a cubic spline mask is applied to the image. The output is the approximation subband of the image. To obtain the detail subband (wavelet plane), approximation image is basically subtracted from the original

image. Pansharpening methods based on ATWT do not have upsampling and subsampling processes. So they do not have the negative effects of downsampling process and yet the computational load is less due to the use of additive transform. The pansharpened image can be obtained by replacing MS wavelet planes with the planes obtained from PAN image. This result contains too much PAN information, which will result in spectral problems in the pansharpened image. Another and more efficient way to obtain the fused image is to add the wavelet planes of PAN image directly to the MS image. This method has better results than the former one. But, this method also has overenhancement issues. To reduce the overenhancement problem and keeping the spectral quality better, first, the wavelet planes are proportioned by luminance (intensity) of the MS image, then, they are added to the MS image. Although this method is better than the former methods, spectral bias is high and it lacks performance in larger detailed areas (urban areas).

Other methods, which decrease the spectral bias and have better results in areas with larger details, are named as CBD and ECB. CBD method calculates a coefficient for every pixel within an $N \times N$ sized window. These coefficients are used for weighting the wavelet planes to be added to the MS image. In CBD method, small details are totally neglected, which yields in blurry results in those areas. ECB method is the enhanced CBD method, which does not totally disregard the small details but add them by a small coefficient.

It is known that bilateral filters can decompose the images like the ATWT. The main difference in this filtering process is that there are two parameters, which are controlling the range and spatial properties of the filtering named as Gaussian range and Gaussian spatial parameters. To recall, in ATWT based methods, to reduce the overenhancement problems the details are limited after the detail extraction. In bilateral filtering, it is possible to arrange the detail extracted from image during the filtering process by simply changing the Gaussian kernels used for filtering, namely spatial and range kernels. The main problem here is the parameter selections. For parameter selection, a dictionary is created by a set of MS and PAN images. In order to select the proper range kernel with a stable spatial kernel, the images are fused for changing range kernels. The most efficient parameter is selected. Then by taking this range kernel, spatial kernel is changed for the dictionary. Two global parameters are obtained by taking the average of the results for bilateral filtering based methods.

Further consideration showed that spatial kernel changes a little for different images while range kernel is differing sharply according to images. So, taking a stable spatial kernel for all images and changing the range parameter by a simple formula for different images will be more proper.

Pansharpening based on bilateral filtering can be made in several ways. First method is called the substitutive method (BFS) in which the detail bands of MS image are replaced by the one obtained from the PAN image. Second method is the additive method (BFA). In this method, the details of the PAN image are added directly to MS image. In bilateral IHS combined method (BFL), the intensity component of the MS image obtained by IHS transform is replaced with PAN image whose histogram is matched with the intensity of MS image. Finally, inverse IHS transform is applied. The final method is called bilateral filtering luminance proportional (BFLP) method. This method is like as the AWLP method. In this method, a luminance component obtained from the bands of MS image is used for weightining the detail subbands of PAN image in a proportional manner and this result is added to the MS image.

As discussed above, it can easily be concluded that spatial kernel of bilateral filter does not affect the pansharpening results effectively. So, replacing the spatial parameter with the spline filter of ATWT and using only the range parameter can reduce the computational cost, while pansharpening results will be close to bilateral filtering. This transform is called weighted a trous wavelet transform (WATWT). Here, focus will be only on the range parameter.

One way to determine the range parameter is to change the parameter during the fusion process and take the parameter, which gives the best quantitative results. WATWT based methods are similar to the ones described above for bilateral filtering which are the substitutive method (WSW), additive method (WAW) and luminance proportional method (WAWLP).

Both bilateral filtering based and WATWT based methods described above are global methods. Because the details are limited already during the filtering processes and it is not possible to adopt local methods of ATWT, namely CBD and ECB. But, it is possible to change the detail added adaptively for WATWT by changing the range parameter adaptively. In this method, for every window equal to the bicubic spline filter size, a range parameter is selected. Looking in different parts of images, a single formula is extracted. Using this adaptive formula, pansharpening process is carried on. This method is called adaptive weighted additive wavelet (AWAW) based pansharpening.

The proposed methods are used for the fusion of multispectral and panchromatic images (pansharpening), as well as the conventional methods described in this work. Different images from SPOT, IKONOS-2 and Quickbird satellites are used for this purpose. The goal of pansharpening is to obtain an MS image, which has the resolution of the PAN image. Because MS image at the PAN resolution does not exist, visual comparisons could not be made. For quantitative comparison, the original PAN images are degraded to the resolution of MS image and MS image is also degraded at the same ratio. These new MS and PAN images are used for pansharpening, so the resulting image can be compared to the original MS image quantitatively.

The visual and quantitative comparisons show different conclusions. First of all, the results of multiresolution methods are much better than the other methods, such as IHS based method. Even if IHS method sharpens the image, the spectral properties of MS image cannot be preserved. Second conclusion is that the additive methods are better than the substitutive methods. Results show that, substitutive methods are overenhanced and still have distortions in color. Conventional additive methods, being better than the substitutive methods, still have an overenhancement problem.

So, luminance proportional methods (AWLP, BFLP, IAWP and WAWLP) and local enhancement methods (CBD, ECB, AWAW) have the best results. The proportional methods are generally better in images having too much details (such as buildings) while local methods are better in images having larger details (such as urban areas).

In luminance methods, the best methods are the proposed BFLP and WAWLP methods, while in local methods the best result is achieved by AWAW.

1. GİRİŞ

1.1 Görüntü Füzyonu Tanımı

Görüntü füzyonu, basitçe birden fazla görüntünün birleştirilerek daha iyi bir görüntü elde edilmesi işlemidir (Pajares ve Manuel de la Cruz, 2004). Füzyonun temeli aynı bölgeden alınan görüntüler için farklı bilgiler içeren görüntülerin kullanılmasına dayanır. Bu görüntüler 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 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 (Pradhan, 2005). 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 pankeskinleştirme (pansharpening) olarak da isimlendirilir; çünkü birleştirme işleminde, PAN görüntünün uzamsal detayları MS görüntüyü keskinleştirmek için kullanılmaktadır. Bu işlemler sayesinde MS

görüntünün uzamsal çözünürlüğü artırılırken, spektral bilgisi korunmaya çalışılır (Pradhan, 2005).

1.2 Literatürde Kullanılan Pankeskinleştirme Yöntemleri

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 (Petrovic, 2001).

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.

Renk füzyon yöntemlerinde, MS görüntünün renk dönüşümleri yardımıyla gerçekleştirilir. Bu metotların bir kısmı bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki, IHS (Intensity – Hue – Saturation) dönüşümü tabanlı yaklaşımdır ki; bu yaklaşımda, MS görüntü IHS dönüşümünden geçirilir, elde edilen I, H ve S değerleri üzerinde yapılan uygun değişikliklerden sonra, ters IHS dönüşümü yardımıyla geri dönülür (Carpet ve diğ, 1990). Bir diğer klasik yöntem ise Principal Component Analysis (PCA) yardımıyla MS görüntünün ilk bileşenin PAN ile değiştirilip geri dönüşümün sağlandığı yöntemdir (Gonzalez-Audicana ve diğ, 2004).

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.

Yukarıda anlatılan özellikler, yani PAN görüntüsünün detay özelliklerinin MS görüntüye, çokluçözünürlük analizleri aracılığıyla enjekte edilmesi işleminin genel adına ARSIS (Amélioration de la Résolution Spatiale par Injection de Structures) konsepti ismi verilmiştir (Ranchin ve Wald, 2000). Buradan itibaren anlatılan çokluçözünürlük yöntemlerin tamamıyla önerilen yöntemler bu konseptte uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Dalgacık dönüşümü tabanlı yöntemde, PAN ve MS görüntüleri dalgacık dönüşümü yardımıyla, yaklaşıklık ve detay altbantlarına ayrıştırılır (Gonzalo ve Jesus, 2004). MS görüntüsünün detay altbantlarının yerine PAN görüntüsünden elde edilen detay altbantları yerleştirilir (Gonzalo ve Jesus, 2004). Elde edilen bu yeni altbantlardan ters dalgacık dönüşümü ile füzyon görüntüsü elde edilir (Gonzalo ve Jesus, 2004).

Hem dalgacık dönüşümünün, hem de IHS dönüşümünün faydalarını birarada kullanan, hibrit metotlar da önerilmiştir (Gonzalez-Audicana ve diğ, 2004). Bu metotta; MS görüntüsünden IHS dönüşümü yardımıyla elde edilen yoğunluk (I) bileşeni ile PAN görüntü arasında histogram uyumlaştırma işlemi yapılır (Gonzalez-Audicana ve diğ, 2004). Histogramı uyarlanmış PAN görüntünün wavelet dönüşümü alınır. PAN görüntüden elde edilen yaklaşıklık görüntüsü ile I bileşenin histogramları uyumlaştırılır (Gonzalez-Audicana ve diğ, 2004). Histogramı uyarlanmış I bileşeni yine dalgacık dönüşümünden geçirilir. PAN' dan elde edilen detay altbantları, I görüntüsünden elde edilenlerin yerine yerleştirilerek ters dalgacık dönüşümü uygulanarak yeni I görüntüsü elde edilir. Son olarak ters IHS dönüşümü yardımıyla füzyon görüntüsü elde edilir (Gonzalez-Audicana ve diğ, 2004).

(Choi ve diğ, 2005) tarafından önerilen curvelet ve contourlet gibi yapılarla, görüntü ayrıştırılması ve birleştirilmesi esasına dayanan bir çokluçözünürlük ayrıştırma analizi yöntemi olan metotta son dönemlerde kullanılmıştır. Curvelet dönüşümünün, kenarları dalgacık dönüşümüne göre daha iyi koruduğu bilgisinden yararlanılarak, dalgacık dönüşümüne göre daha iyi sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Dalgacık dönüşümünde bulunan altörnekleme ve üstörnekleme adımları, dönüşüm zamanla değişen olmasına neden olur (Nunez ve diğ, 1999). Bunun bir sonucu olarak, füzyon sonucunda istenmeyen yapaylık ve bozulmalar oluşur. Bu durumu engellemek için, altörneklemesiz dalgacık dönüşümleri önerilmiştir. Bunlardan, füzyon için en sık kullanılanı A trous Wavelet dönüşümü (ATWT) tabanlı füzyon incelenerek, bu yöntemi temel alan füzyon yöntemleri irdelenmiştir (Nunez ve diğ, 1999).

ATWT dönüşümü, giriş görüntüsünün basit bir maskeyle konvolüsyonuna karşı düşer. Konvolüsyonun sonucunda yaklaşıklık altbandı elde edilirken, yaklaşıklık görüntüsü ile giriş görüntüsü arasındaki fark detay altbandını verir. Daha ileri seviyelerde altbantları elde etmek için, yaklaşıklık altbandı konvolüsyona tabii tutulur. Zamanla değişmezlik özelliğini sağlamak için, her seviyede maskenin boyutu, aralarına sıfır yerleştirilerek, iki katına çıkarılır. ATWT ile ayrıştırılan altbantlardan görüntüyü elde etmek için, son seviye yaklaşıklık altbandı ile detay altbantlarını toplamak yeterli olacaktır. Bu da işlem yükünün oldukça azalmasını sağlamaktadır. (Nunez ve diğ, 1999) tarafından önerilen, yer değiştirme metodu (SW), toplamsal metot (AW), ve toplamsal yoğunluk bileşeni metodu (AWL) incelenmiştir. SW metodunda, MS görüntüsünden elde edilen detayların yerine, PAN görüntüsünden elde edilen detaylar yerleştirilirken; AW metodunda, PAN görüntüsünden elde edilen detaylar direkt olarak MS görüntüsüne ilave edilir (Nunez ve diğ, 1999). AWL metodunda ise, ilk olarak; MS görüntüsünden IHS dönüşümü ile parlaklık (I) bileşeni elde edilir, ardından; PAN görüntüsünün histogramı, elde edilen I bileşeninin histogramına uydurularak detayları çıkartılır, sonra; bu detaylar, MS görüntünün I bileşenine ilave edilerek elde edilen yeni I bileşenini kullanarak ters IHS dönüşümü uygulanır ve sonuç görüntüsü elde edilir (Nunez ve diğ, 1999). AWL metodunun geliştirilmiş ve tek denklem haline indirgenmiş olan AWLP metodunda ise, PAN detayları bir katsayıyla çarpılarak MS görüntüye ilave edilir (Otazu ve diğ, 2005).

AWLP metodu da dahil anlatılan metotların en büyük problemi, aşırı detay ilavesidir. Bunu engellemek için farklı yöntemler önerilmiştir. Bunlardan ilki geliştirilmiş AWLP (IAWP) metodudur (Kim ve diğ, 2011). Bu metotta, PAN görüntüsünden elde edilen detay altbandından, o seviyedeki yaklaşıklık altbandının detayları çıkarılır (Kim ve diğ, 2011). Böylelikle yüksek geçiren detay elde etmek yerine

sınırlandırılmış detaylar elde edilir (Kim ve diğ, 2011). Elde edilen detaylar, AWLP deki formül yardımıyla MS görüntüye ilave edilir (Kim ve diğ, 2011). Bu yöntemle, aşırı detay ilavesi problemi azalmış olmakla beraber, bu defa az detay ilavesi sorunuyla karşılaşılır.

Lokal metotlar olarak da genelleyebileceğimiz, uyarlamalı bir mantıkla çalışan, (Garzelli ve Nencini, 2005) tarafından önerilen CBD ve ECB metotlarında ise, PAN detayları, MS görüntüye belli bir ağırlıklandırma yardımıyla ilave edilir. CBD metodunda, $N \times N$ lik bir pencerede ağırlık hesaplanır ve bu ağırlık ilgili PAN detayı ile çarpılarak MS görüntüye eklenir (Garzelli ve Nencini, 2005). İlgili ağırlık katsayısı her piksel için o pikseli merkez alan $N \times N$ lik pencerede, MS ile PAN görüntüsünün standart sapmalarının oranı olarak belirlenir. Ayrıca, aynı pencerede hesaplanan lokal korelasyon katsayısının belirli bir değerin üstünde olması şartı aranır. Bu şartı sağlamayan piksellerde, detay ilavesi yapılmaz. CBD metodunda, bazı bölgelerde hiç detay ilave edilmiyor olması, bu yöntemin en önemli problemi olarak göze çarpar (Garzelli ve Nencini, 2005). Hiç detay ilave edilmemesinin yanlış olduğu ve bu sorunu gidermek maksadıyla, bu yöntemin gelişmiş bir versiyonu olan ECB yöntemi önerilmiştir (Garzelli ve Nencini, 2005). Bu yöntemde, işlem yapılacak pikseli merkez alan $N \times N$ lik bir pencere içerisinde MS ve PAN görüntülerinin standart sapmalarının oranı ile aynı pencerede hesaplanan lokal korelasyon ile tüm görüntü üzerinde hesaplanan global korelasyon oranı hesaba katılır. Her iki yöntemde de kararsızlıkları engellemek için ağırlık katsayılarının ampirik olarak belirlenen değerden büyük olmaması sağlanır.

Bir başka yöntem de, (Garzelli, 2008) tarafından önerilen, minimum ortalama karesel hatayı (MMSE) optimize edecek şekilde pankeskinleştirmeyi gerçekleştirmektir. Bu yöntemde, füzyon sonucu ile orijinal MS görüntü arasındaki MMSE' yi optimize edecek füzyon sonucunu kestirmeyi amaçlamıştır (Garzelli, 2008).

Son yıllarda, seyrek (sparse) gösterim yardımıyla pankeskinleştirme gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Cheng, M. ve diğ, 2014; Vicinanza, M.R. ve diğ, 2015). (Cheng, M. ve diğ, 2014) tarafından önerilen yöntemde, orijinal MS ve PAN görüntüsünden rasgele bir biçimde sözlükler oluşturulur ve elde edilen sözlükler K-SVD metodu yardımıyla eğitilip, pankeskinleştirmenin gerçekleştirilmesi amaçlanır. (Vicinanza, M.R. ve diğ, 2015) tarafından önerilen yöntemde, seyrek gösterim tüm görüntü için değil,

sadece detaylar üzerinde uygulanarak, kaybolan bazı detayların kestiriminin yapılmasına çalışılmıştır.

1.3 Tezin Katkıları

ATWT yönteminde elde edilen detayların aşırı olduğu bilindiği için önerilen yöntemlerin tamamı, PAN görüntüsünden detayları elde ettikten sonra, detayların katsayılarla azaltıldığı veya artırıldığı görülmektedir. Önerilen ve tezin ana konularını oluşturan yöntemlerin, bu yöntemlerden bir farkı, detayların kontrollü olarak ilave edilmesinin, detay çıkarımından sonra değil, detay çıkarımı esnasında yapılmasının sağlanmasıdır.

Bu tezin ana konusunu oluşturan yöntemlerin ilki bilateral süzgeçleri temel alan pankeskinleştirme metotlarıdır.

Bilateral süzgeçler, özellikle gürültü giderme alanında kullanılmış olan bir süzgeçleme yöntemi olup, dönüşümü yaparken piksellerin hem konumsal hem uzamsal bilgilerini göz önüne alarak süzgeçleme yapmaktadır (Paris ve diğ, 2009). Bilateral süzgeçlerden ATWT benzeri bir yapı oluşturulabildiği görülmektedir (Hu ve Li, 2012). Konumsal ve uzamsal parametrelerin uygun biçimde belirlenerek füzyon için kullanılabileceği görülmüş ve füzyon yöntemleri önerilmiştir. Bu süzgeçlerle elde edilen detay altbantlarının, ATWT gibi yüksek geçiren değil, IAWP de olduğu gibi detay sınırlandıran olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, füzyon sonuçlarının, ATWT tabanlı yöntemlerde görülen aşırı keskinleştirme sorununu bir miktar azalttığı gözlemlenmiştir.

Bilateral süzgeçleri temel alan çeşitli füzyon yöntemleri önerilmiş, bildiri ve makale olarak sunulmuştur. Bunlardan ilki yerdeğiştirme metodudur (Kaplan ve Erer, 2012). Bu metotta, MS den elde edilen detaylar, PAN dan elde edilen detaylarla değiştirilmiştir. İkinci metot ise, toplamsal metottur ki; bu metotta PAN detayları MS görüntüye doğrudan eklenmiştir (Kaplan ve Erer, 2012). Üçüncü yöntem; MS görüntünün IHS dönüşümü ile elde edilen parlaklık bileşenine PAN detayı ilave edilerek ters IHS dönüşümü uygulanmıştır (Kaplan ve diğ, 2012). Dördüncü yöntem, AWLP de kullanılan luminans yönteminin bilateral süzgeçlere uyarlamasıdır (Kaplan ve Erer, 2014). Bilateral süzgeçleri temel alan yöntemler, karşı düşen ATWT tabanlı yöntemlere üstün gelmiştir.

Bilateral süzgeçlerle füzyon yapılırken, dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, konum ve uzamsal parametrelerin kestirimidir. Yüksek değerli parametreler yöntemin Gauss süzgece yakınsamasına neden olurken, düşük değerli parametreler, sonuç görüntüsünün aşırı keskinleşmesine neden olmaktadır. Parametre kestirimi için farklı görüntüler incelenmiş olup, konumsal parametrenin, tüm görüntülerde aynı değerde alınabileceği görülmüştür. Uzamsal parametrenin ise giriş görüntüsünün özelliklerine göre değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiş ve her görüntü için optimuma yakınsayan bir formülasyon elde edilmiştir. Farklı uyduların farklı görüntülerinde bu değerler kullanılmış olup, sonuçların oldukça iyi olduğu görülmüştür.

Tezin ikinci önemli başlığı ağırlıklandırılmış ATWT (WATWT) dönüşümü olarak adlandırılan metottur.

Bilateral süzgeçlerde kullanılan konumsal parametrenin füzyon sonucuna fazla etki etmediği gözlemlenmiştir. Bu parametrenin devre dışı bırakılarak, yerine ATWT de kullanılan B_3 kübik spline süzgeci konularak yeni bir dönüşüm tanımlanmıştır. Bu dönüşümün (Hanika, 2011) tarafından önerilen kenar koruyan dalgacık dönüşümüne benzer olduğu görülmüştür. Bu yöntemin bilateral süzgeçlere yakın değerler elde ederken, tek parametre hesabı yapılacağı için daha hızlı olduğu görülmüştür. Bilateral süzgeçleri temel alan ve yukarıda ifadesini bulan tüm yöntemlerin, WATWT ye uyarlanmış halleri önerilmiştir. Önerilen yöntemlerin gerçekten de bilateral süzgeçlere yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Lokal yöntemler olarak ifade edilen CBD ve ECB yöntemlerinin, belli görüntülerde daha iyi sonuçlar verdiği gerçeğini gözönünde bulundurarak, WATWT üzerinden lokal bir yöntem önerilmiştir. Bilindiği üzere CBD ve ECB yöntemlerinde, PAN görüntünü detayları, MS görüntüsüne, uyarlamalı olarak değişen ağırlıklandırmalar yapılarak eklenmektedir. WATWT yönteminde bunu sağlamak için, PAN detaylarının hesaplanması esnasında, uzamsal parametrenin uyarlamalı olarak bulunması sağlanmıştır. Elde edilen detaylar, MS görüntüye ilave edilmiştir.

Bu tez şu şekilde düzenlenmiştir: İlk bölüm görüntü füzyonunun tanımı, literatürde kullanılan pankeskinleştirme yöntemleri ile önerilen yöntemleri içermektedir. İkinci bölümde, pankeskinleştirme için kullanılan görüntü kümelerinin özellikleri anlatıldıktan sonra, nicel karşılaştırmanın nasıl yapılabileceğine dair bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, literatürde kullanılan bazı piksel düzeyinde füzyon

algoritmalarının teorik yapılarını kapsamaktadır. Bu bölümde sırasıyla, IHS Dönüşümü, PCA dönüşümü, A Trous Dalgacık Dönüşümü (ATWT), tabanlı pankeskinleştirme yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, önerilen yöntemlerin ilki olan bilateral süzgeç temelli metotlar ele alınmıştır. İlk olarak bilateral süzgeçlerle ilgili teorik bilgi verilmiş, ardından, pankeskinleştirmenin nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Beşinci bölümde önerilen WATWT dönüşümü teorisi anlatıldıktan sonra, pankeskinleştirme işlemlerinin nasıl yapılacağı yer almaktadır. Altıncı bölümde, görüntü kümeleri kullanılarak elde edilen pankeskinleştirme sonuçları; görsel ve nicel olarak ele alınmıştır. Yedinci bölümde, sonuçlar tartışılmıştır.

2. PANKESKİNLEŞTİRME SONUÇLARININ NİCEL KARŞILAŞTIRILMASI

2.1 Kullanılan Görüntüler

Pankeskinleştirme yöntemleri SPOT, IKONOS ve Quickbird uydularından elde edilen görüntülere uygulanmıştır (Centre National d'Etudes Spatiales, 2013; Space Imaging, 2000; Digitalglobe, 2003). Bu uydulara ait pankromatik ve çokluçözünürlük görüntülerinin özellikleri Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Uydulara ait görüntülerin özellikleri.

Uydu	Sensör	Bant	Spektral Aralık	Görüntünün Alanı	Çözünürlük
QuickBird-2	Çokluçözünürlük	1=B	450 - 520 μm	16.5 X 16.5 km	2.44 - 2.88 m
		2=G	520 - 600 μm		
		3=R	630 - 690 μm		
		4=NIR	760 - 900 μm		
	Pankromatik	Pan	760 - 850 μm		61 - 72 cm
IKONOS-2	Çokluçözünürlük	1=B	455 - 520 μm	11 X 11 km	4 m
		2=G	510 - 600 μm		
		3=R	630 - 700 μm		
		4=NIR	760 - 850 μm		
	Pankromatik	Pan	760 - 850 μm		1 m
SPOT-5	Çokluçözünürlük	1=G	500 - 590 μm	11 X 11 km	5 m
		2=R	610 - 680 μm		
		3=NIR	780 - 890 μm		
		4=SWIR	1580-1750 μm		
	Pankromatik	Pan	480-710 μm		2.5 m

2.2 Nicel Analiz Kriterleri

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 görüntülerinin kalite analizlerinin nicel olarak yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu amaçla belirlenen çeşitli istatistiksel kriterler aşağıda sıralanmıştır.

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

RMSE çok iyi bir spektral kalite göstergesidir. İki görüntü arasındaki hatanın karelerinin toplamının ortalamasının kareköküne karşılık gelir. Bu ölçüm her bir pikseldeki ortalama bozulma miktarını belirler. Çoklu spektral bantların her biri ile ilgili, füzyon sonucu elde edilmiş görüntü bantları arasında RMSE hesabı yapılır. $MS(m,n)$ ve $F(m,n)$, $M \times N$ boyutunda olan görüntülerin (m,n) . pikselini ifade etmek üzere tek bantlı füzyon için RMSE eşitliği (2.1) de verilmiştir.

$$RMSE(MS, F) = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |MS(m, n) - F(m, n)|^2} \quad (2.1)$$

RMSE değeri ne kadar düşükse, spektral özellikler o kadar korunmuş demektir.

2.2.2 CC (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 (2.2) eşitliği ile hesaplanır.

$$Corr(MS, F) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (MS_{mn} - MS_{ort})(F_{mn} - F_{ort})}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (MS_{mn} - MS_{ort})^2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (F_{mn} - F_{ort})^2}} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki eşitlik tek bantlı bir görüntünün füzyon sonucu ile referans MS görüntüsü arasındaki korelasyonun hesabıdır. Korelasyon değeri, iki görüntü arasındaki benzerliği ölçtüğüne göre, hesaplanan korelasyon değerlerinin mümkün olduğunca yüksek olması beklenir.

2.2.3 RM (Ortalama Değerdeki Bağlı Kayma)

Füzyon görüntüsünün ortalama piksel değerinin referans MS görüntüsüne göre ne kadar kaydığını ifade eder.

$$RM = \% \frac{|MS_{ort} - F_{ort}|}{MS_{ort}} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki bağıl kayma değeri, tek bantlı füzyon işlemleri içindir. Bağıl kayma ne kadar azsa, sonuç görüntüsü o derecede referans MS görüntüsüne yakındır. Dolayısıyla, RM değerinin “0” a yakınsaması beklenir.

2.2.4 SAM (Spektral Açısıl Hata)

SAM değeri, iki vektör arasındaki açının ifadesidir (Alperone ve diğ, 2004). Aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir.

$$SAM = \arccos\left(\frac{\langle MS, F \rangle}{\|MS\|_2 \|F\|_2}\right) \quad (2.4)$$

Burada F ve MS, sırasıyla füzyon sonucu ve orjinal görüntünün belli bir konumundaki koordinat değerlerine karşı düşmektedir. Yukarıdaki SAM değeri füzyon ve referans görüntünün belli bir koordinattaki açısıl farkını ifade eder. (2.4) deki SAM değerleri tüm pikseller için hesaplanıp ortalaması alınır. Açının değerinin az olması, referans MS görüntü ile sonuç görüntüsünün bantlar arası ilişkilerinin benzer olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla, değer “0” a yakınsaması beklenir.

2.2.5 ERGAS (The Relative Global Dimensional Synthesis Error)

Wald (2000) tarafından, ERGAS metriği, aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır,

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{RMSE^2(MS_i, F_i)}{M_i^2}} \quad (2.5)$$

Burada h ve l, sırasıyla yüksek ve düşük uzamsal çözünürlüklü görüntülerin çözünürlük değerlerine karşı düşerken, M_i , referans MS görüntüsünün i. bandın ortalama radyansına karşı düşmektedir. ERGAS değeri MS görüntü ile füzyon görüntüsü arasındaki global hatayı hesapladığından, ERGAS değerinin “0” a yakınsaması gerekir.

2.2.6 SERGAS (The Spatial Relative Global Dimensional Synthesis Error)

Lillo-Saavedra ve diğ. (2005) tarafından önerilen SERGAS değeri, PAN görüntüsünün, herbir MS bandı ile histogram uyarlama yoluyla elde edilen bantlardan elde edilen çokluçözünürlük görüntüsü ile füzyon görüntüsü arasındaki ERGAS değerine karşı düşer. SERGAS, aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır,

$$SERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{RMSE^2(PAN_i, F_i)}{M_i^2}} \quad (2.6)$$

Burada PAN_i , PAN görüntüsünün, referans MS görüntüsünün i . bandının histogramı uyarlanmış halidir. M_i , histogramı uyarlanmış çokluçözünürlük PAN görüntüsünün i . bandın ortalama radyansına karşı düşmektedir. SERGAS değeri PAN ile füzyon görüntüsü arasındaki global hatayı hesapladığından, bu değer “0” a yakınsaması gerekir.

2.2.7 Q (Universal Image Quality Index) ve Q4

Kalite indeksi Q, korelasyon kaybı, luminans ve kontrast bozukluklarının kombinasyonundan modellenmiş bir distorsiyon ifadesidir (Bovik ve Wang, 2002). Kalite indeksinin formülasyonu (2.7) deki gibidir.

$$UIQ = \frac{\sigma_{MSF}}{\sigma_{MS}\sigma_F} \frac{2\mu_{MS}\mu_F}{\mu_{MS}^2 + \mu_F^2} \frac{\sigma_{MS}\sigma_F}{\sigma_{MS}^2 + \sigma_F^2} \quad (2.7)$$

Q4, 4 bantlı bir füzyon görüntüsünde her bir bant için hesaplanan kalite indeksinin ortalamasını ifade eder. Q değeri hesaplanırken görüntü üzerinde NxN lik bir pencere gezdirilir. Buradaki N değeri 16 ile 128 arasında değişebilmektedir. Q4 ün alabileceği en yüksek değer “1” olabilir ve bu değer ideal sonuçtur.

2.2.8 QNR

Alperone, herhangi bir referans görüntüye ihtiyaç duymayan QNR kriterini aşağıdaki şekilde ifade etmiştir (Alperone ve diğ, 2008).

$$QNR = (1 - D_\lambda)(1 - D_S) \quad (2.8)$$

Burada D_λ ve D_S sırasıyla radyometrik ve uzamsal distorsiyonu ifade etmektedir.

$$D_\lambda = \frac{1}{L(L-1)} \sum_{l=1}^L \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^L |Q(MS_l, MS_r) - Q(F_l, F_r)|$$

$$D_S = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |Q(MS_l, PAN) - Q(F_l, \widetilde{PAN})| \quad (2.9)$$

Buradaki $\widehat{PAN}$, PAN görüntüsünün kaynak görüntü olarak kullanılan MS görüntüsünün çözünürlüğüne indirgenmiş halidir. Radyometrik ve geometrik distorsiyon, görüntüdeki bozulmaları ifade ettiğine göre bu değerlerin “0” a yakınsaması beklenir. QNR değeri ise en fazla “1” e ulaşabilmektedir ve füzyon sonucunda bu değere yakınsamaya çalışılmaktadır.

2.3 Referans Görüntü Oluşturma

Yukarıda anlatılan kriterlerin büyük bir kısmı füzyon görüntüsü ile orijinal füzyon görüntünün karşılaştırılmasını içermektedir. Kıyaslanabilecek orijinal bir füzyon görüntüsü bulunamadığından, Wald ve diğ. (1997) protokolü yardımıyla karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu protokole göre; orijinal PAN görüntüsünün çözünürlüğü MS görüntüsünün çözünürlüğü seviyesine indirgenirken MS görüntüsünün seviyesi de orijinal PAN görüntüsünün indirgenme oranında indirgenir. Elde edilen çözünürlüğü düşürülmüş MS ve PAN görüntüleri füzyona tabi tutularak elde edilen füzyon görüntüsünün çözünürlüğünün orijinal MS görüntüsüne yakınsaması beklenir. Bu sayede yukarıda anlatılan kriterlerin hesaplanması mümkün hale gelir.

Görüntü çözünürlüğünün düşürülürken izlenilen yöntem füzyon sonucunun güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Pratikte doğrudan çözünürlük düşürme, özellikle yüksek çözünürlüklü ve/veya yerleşim alanları gibi aşırı detayların olduğu görüntülerde pek uygulanabilir olamamaktadır. Bunun ana sebebi görüntü sisteminin modülasyon transfer fonksiyonudur (MTF) (Aiazzi ve diğ, 2006). Gerçek sistemlerin MTF’ leri genellikle çan şeklinde olup $\frac{1}{2}$ Nyquist frekansından çok daha düşüktür. Ayrıca MS sensörlerin her biri kendi içinde ve PAN sensörlerden farklı MTF’ lere sahiptirler.

Aiazzi ve diğ. (2006) da ifade edildiği gibi PAN görüntünün ATWT yardımıyla indirgenmesi MTF baz alınarak yapılacak indirgemeye oldukça yakındır. Dolayısıyla PAN görüntü için indirgeme işlemini ATWT ile yapmak daha kolay olacaktır.

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

MS ve PAN görüntülerinin füzyonu için birçok metot önerilmiştir. Bu metotların bir kısmı bu çalışmada ele alınacaktır.

3.1 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 gerçekleşir (Tu ve diğ, 2001).

3.1.1 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. Hue ise baskın dalga boyunu ifade etmektedir. Son olarak Saturation, görüntünün griye göre saflığını ifade eder (Tu ve diğ, 2001).

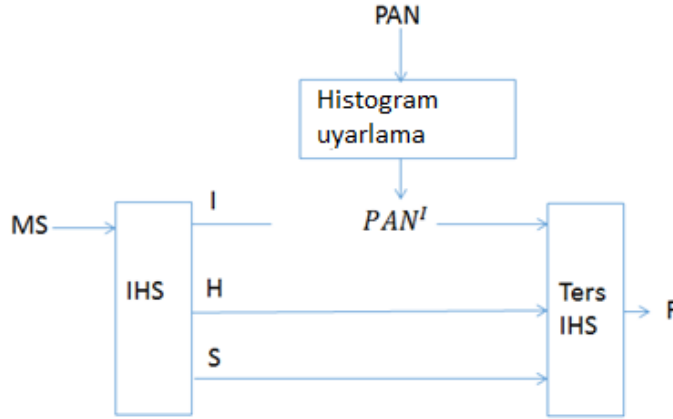
IHS dönüşümünde genellikle silindirik veya küresel koordinatlar ile belirlenen IHS değerleri, lineer bir dönüşüm kullanılarak v_1 ve v_2 değerleri aracılığı ile kartezyen koordinatlara eşleştirilir (Tu ve diğ, 2001). Dairesel model için dönüşüm ve ters dönüşüm eşitlikleri (3.1) ve (3.2) de verilmiştir.

$$\begin{aligned} H &= \tan^{-1} \left(\frac{v_1}{v_2} \right) \\ S &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \end{aligned} \quad \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{2\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} v_1 &= Scos(H) \\ v_2 &= Ssin(H) \end{aligned} \quad \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

3.1.2 IHS füzyon yöntemi

IHS renk sistemindeki parlaklık bileşeni (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 parlaklık bileşeni 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 3.1).



Şekil 3.1 : IHS görüntü füzyonu diyagramı.

IHS dönüşümlü pankeskinleştirme formülü aşağıdaki biçimde olur.

$$\begin{pmatrix} R_{yeni} \\ G_{yeni} \\ B_{yeni} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} PAN \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

PAN görüntü ile I bileşeni arasındaki korelasyon yüksekse, füzyon tatmin edici bir sonuç verir. Pratikte ise, bu iki görüntü arasındaki korelasyon, çoğunlukla düşük olmaktadır. Bu yüzden, IHS füzyon yöntemi MS görüntünün orjinal renklerinin spektral değerlerini bozmaktadır ve bu durum yöntemin en önemli sorunlarından biridir (Tu ve diğ, 2004).

IHS dönüşümlü füzyonu daha hızlı hesaplamak mümkündür (Tu ve diğ, 2004). (3.3) denklemini aşağıdaki biçimde yeniden yazılırsa:

$$\begin{pmatrix} R_{yeni} \\ G_{yeni} \\ B_{yeni} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} I + (PAN - I) \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R + (PAN - I) \\ G + (PAN - I) \\ B + (PAN - I) \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Yoğunluk değerini şu şekilde hesaplamanın da doğru olduğu gösterilmiştir (Tu ve diğ, 2001).

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (3.5)$$

MS görüntülerin genellikle dört banttı oluşturduğu bilinmektedir. Dolayısıyla yoğunluk bileşeni aşağıdaki şekilde de hesaplanabilir (Tu ve diğ, 2004).

$$\hat{I} = \frac{R + G + B + NIR}{4} \quad (3.6)$$

Bu durumda füzyon sonucu elde edilen MS bantlar, aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= R + PAN - \hat{I} \\ G_{yeni} &= G + PAN - \hat{I} \\ B_{yeni} &= B + PAN - \hat{I} \\ NIR_{yeni} &= NIR + PAN - \hat{I} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Özellikle kırsal alanda NIR değerleri oldukça yüksek çıkacağından (3.6) daki yoğunluk hesabının (3.5) den daha büyük sonuçlar çıkaracağı aşikârdır.

$$\frac{R + G + B + NIR}{4} > \frac{R + G + B}{3} \quad (3.8)$$

Bu durumda;

$$3 * NIR > R + G + B \quad (3.9)$$

sonucuna ulaşılır. IHS ve GIHS için en önemli problemlerden biri renklerin bozulmasıdır. IKONOS gibi yüksek çözünürlüklü görüntülerde bunu engellemek için yoğunluk bileşenini (3.6) üzerinden yapılacak şu değişiklik ile azaltmak gerekir (Tu ve diğ, 2004).

$$\ddot{I} = \frac{R + a * G + b * B + NIR}{3} \quad (3.10)$$

Burada, a ve b füzyon sonuçlarına göre belirlenen katsayılar olup $a + b = 1$ olmalıdır. Bu yönteme Genelleştirilmiş IHS (GIHS) yöntemi de denir.

3.2 PCA Tabanlı Füzyon

MS sensörleri EM spektrumunun çoğunlukla yakın bantlarından bilgi topladığı için gereksiz bilgi depolarlar. PCA, yeni bantlar oluşturarak, orijinal bilginin büyük kısmını tutarak orijinal bantları sentezler. İlk temel bileşen PC^1 , PCA' e giriş olan tüm bantlarda ortak olan bilgileri tutar. İlk bileşen, IHS deki I ile benzerlik gösterir. Füzyon işlemi de IHS ye benzer şekilde PC^1 yerine PAN görüntünün yerleştirilip ters PCA dönüşümüyle füzyon görüntüsünün oluşturulmasıyla gerçekleştirilir (Gonzalez-Audicana ve diğ, 2004). MS görüntüsünün PCA dönüşümü, IHS dönüşümüne benzer biçimde ifade edilebilir (Tu ve diğ, 2001).

$$\begin{aligned} H &= \tan^{-1} \left(\frac{PC_3}{PC_2} \right) \\ S &= \sqrt{PC_2^2 + PC_3^2} \end{aligned} \begin{pmatrix} PC^1 \\ PC^2 \\ PC^3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Buradaki, H ve S bileşenleri, IHS den daha farklıdır. ϕ_{ab} , değerleri ise, RGB vektörlerinin kovaryans matrisinin özvektörleridir. PCA tabanlı pankeskinleştirme formülü aşağıdaki biçimdedir (Tu ve diğ, 2001).

$$\begin{pmatrix} R_{yeni} \\ G_{yeni} \\ B_{yeni} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} PAN \\ PC^2 \\ PC^3 \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

PCA yöntemiyle pankeskinleştirme yapılması, işlemsel açıdan büyük bir yük getirmektedir. Bunun yerine, PCA dönüşümünü pseudo KL dönüşümü (PSKL) ile gerçeklemek mümkündür (Tu ve diğ, 2001).

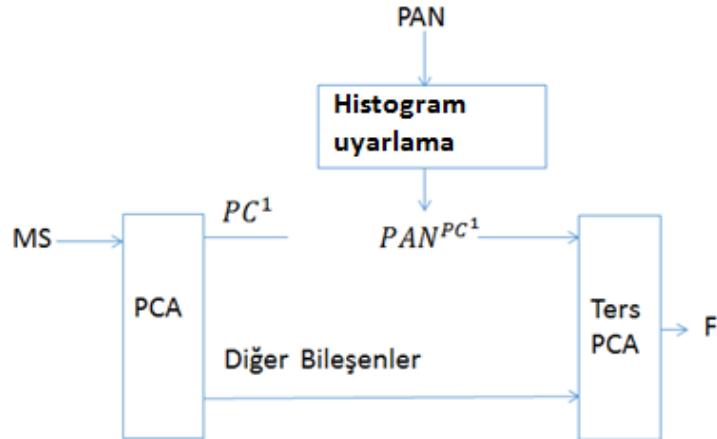
$$\begin{pmatrix} PPC^1 \\ PPC^2 \\ PPC^3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{-1}{2} \\ \frac{-1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{-1}{4} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

Bu durumda, pankeskinleştirme formülü şu şekilde oluşur.

$$\begin{pmatrix} R_{yeni} \\ G_{yeni} \\ B_{yeni} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{-2}{3} \\ 1 & 0 & \frac{4}{3} \\ 1 & -1 & \frac{-2}{3} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} PAN \\ PPC^2 \\ PPC^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} PAN \\ PAN \\ PAN \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & \frac{-2}{3} \\ 0 & \frac{4}{3} \\ -1 & \frac{-2}{3} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} PPC^2 \\ PPC^3 \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

$$= \begin{pmatrix} R + (PAN - PPC^1) \\ G + (PAN - PPC^1) \\ B + (PAN - PPC^1) \end{pmatrix}$$

PCA tabanlı görüntü füzyonu ile ilgili diyagram Şekil 3.2. de verilmiştir.



Şekil 3.2 : PCA görüntü füzyonu diyagramı.

Bu yöntemde de IHS metoduna benzer olarak PAN görüntü ile MS görüntüsünün birinci bileşeni arasındaki korelasyon ne kadar yüksekse o kadar iyi sonuç elde edilir.

3.3 Toplamsal Dalgacık Dönüşümü (ATWT) ile Füzyon Yöntemleri

Ayrık dalgacık dönüşümü, zamanla değişmezlik (shift-invariance) özelliğini sağlayamadığı için füzyon gibi görüntü işleme uygulamalarında sorunlara yol açmıştır (Ganzalo ve Jesus, 2004). Bunu önlemek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan en popülerleri ve en iyi sonuçlar vereni Toplamsal Dalgacık Dönüşümü (ATWT) olmuştur (Nunez ve diğ., 1999).

ATWT' yi gerçekleyebilmek için, bir ölçekleme fonksiyonu kullanılması gerekir. Nunez ve diğ. (1999) tarafından kullanılan B_3 kübik spline profiline sahip bir ölçekleme fonksiyonu kullanılabilir. B_3 kübik spline kullanmak 5x5 lik maske ile konvolüsyona karşı düşer.

$$h_o = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 4 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Bir I görüntüsünün konvolüsyonu sonucunda, ilk seviye temel bant bileşeni I_1 elde edilir.

$$I_1 = I * h_o \quad (3.16)$$

Orijinal görüntü ile ilk seviye temel bant arasındaki fark, dalgacık düzlemi (wavelet plane) olarak adlandırılan, ilk seviye dalgacık bileşenini verir.

$$w_{I_1} = I - I_1 \quad (3.17)$$

Ayrışma devam etmek için her seviyede h_o süzgecinin değerlerinin arasına “0” lar eklenerek, o seviyedeki temel bant ile konvolüsyon yapılarak, sonraki seviye temel bandı elde edilir.

$$I_l = I_{l-1} * h_{l-1} \quad (3.18)$$

Burada, I_0 , orijinal I görüntüsüne karşı düşmektedir. Her seviyedeki dalgacık bileşeni aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$w_{l-1} = I_l - I_{l-1} \quad (3.19)$$

Bu durumda, “n” seviyeli bir ayrıştırmanın sonucunda, orijinal görüntüyü yeniden elde etmek için gerekli olan yeniden yapılandırma formülü şu şekilde yazılabilir (Nunez ve diğ, 1999).

$$I = \sum_{l=1}^n w_{I_l} + I_n \quad (3.20)$$

Burada, I_n , kalıntı terimini (residue) ifade eder. Yukarıda anlatıldığı gibi, ATWT ile her seviye ayrışmada bir yaklaşıklık altbandı ile bir dalgacık bileşeni oluşur. İşlemsel açıdan kolaylık sağlayan bu yöntem, altbantları toplayarak geriye çatma yapılabildiği için toplamsal dalgacık dönüşümü de denmektedir (Nunez ve diğ, 1999).

Toplamsal dalgacık dönüşümünü temel alan pankeskinleştirme yöntemlerinin bir kısmı incelenmiş olup aşağıda toparlanmıştır.

3.3.1 Yer Değiştirme Metodu (SW)

Bu yöntemde MS görüntüye ait wavelet düzlemleri, PAN görüntünün wavelet düzlemleri ile aşağıdaki şekilde yer değiştirilir (Nunez ve diğ, 1999). Bu yöntemin aşamaları aşağıda gösterilmiştir.

Aşama 1: MS görüntünün bantları ATWT ile n tane wavelet düzlemine ayrıştırılır.

$$\begin{aligned} R &= \sum_{l=1}^n w_{R_l} + R_n \\ G &= \sum_{l=1}^n w_{G_l} + G_n \\ B &= \sum_{l=1}^n w_{B_l} + B_n \\ NIR &= \sum_{l=1}^n w_{NIR_l} + NIR_n \end{aligned} \quad (3.21)$$

Aşama 2: PAN görüntü, ATWT ile yine n tane wavelet düzlemine ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + PAN_n \quad (3.22)$$

Aşama 3: Her MS bandının wavelet düzlemlerinin yerine PAN' a ait wavelet düzlemleri yerleştirilir.

Aşama 4: Yeniden yapılandırma aşağıdaki şekilde uygulanır.

$$\begin{aligned}
 R_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + R_n \\
 G_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + G_n \\
 B_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + B_n \\
 NIR_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + NIR_n
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

Yer değiştirme metodunun sonucunda, MS görüntünün detayları yerine PAN görüntünün detayları yerleştirildiğinden, MS görüntüye ait önemli bilgiler kaybolurken, yerini PAN görüntüdeki önemli önemsiz bilgiler alır.

3.3.2 Toplamsal ATWT Metodu (AW)

Bu yöntemde PAN görüntü, n tane wavelet düzlemine ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + PAN_n \tag{3.24}$$

Elde edilen dalgacık düzlemleri direkt olarak MS görüntünün bantlarına eklenir (Nunez ve diğ, 1999).

$$\begin{aligned}
 R_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + R \\
 G_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + G \\
 B_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + B \\
 NIR_{yeni} &= \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + NIR
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

Toplamsal metotta, PAN görüntüsünün detayları doğrudan MS görüntüye ilave edildiğinden, yer değiştirme metodunda kaybolan MS görüntüye ait bilgiler de daha iyi korunmuş olur. Fakat doğrudan toplama yapıldığı için aşırı keskinlik problemi oluşması beklenir.

3.3.3 Yoğunluk (Intensity) Bileşenine Ekleme Yöntemi (AWL)

Bu yöntemin aşamaları aşağıda gösterilmiştir (Nunez ve diğ, 1999).

Aşama 1: MS görüntünün bantlarına IHS dönüşümü uygulanır.

Aşama 2: PAN görüntü ile MS görüntünün yoğunluk bileşeninin (I) histogramları eşitlenir.

Aşama 3: Histogramı eşlenmiş PAN görüntü, (3.20) de gösterildiği gibi n tane wavelet düzlemine ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + PAN_n \quad (3.26)$$

Aşama 4: Yeni I bileşenini bulmak için I bileşenine PAN görüntüsünün wavelet düzlemleri ilave edilir.

$$I_{yeni} = \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + I \quad (3.27)$$

Aşama 5: Son olarak ters IHS dönüşümü yardımıyla yeni MS bantları elde edilir.

Bu yöntemde, doğrudan toplama yerine renk bilgisini baz alarak bir toplama yapılır. Bu sayede MS e ait renk bilgisinin daha iyi korunması hedeflenir. Bu yöntem özellikle MS ve PAN görüntüsünün histogramları arasındaki farkın az olduğu durumlarda iyi çalışır.

3.3.4 Oransal Luminans-Additive Wavelet Luminance Proportional (AWLP)

AWLP metodu, MS görüntüsünün yoğunluk bileşeninin bir ağırlık katsayısı gibi kullanılmasıyla elde edilir (Otazu ve diğ, 2005). İşlemin aşamaları aşağıda verilmiştir.

Aşama 1: PAN görüntü, ATWT ile n tane wavelet düzlemine ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + PAN_n \quad (3.28)$$

Aşama 2: PAN görüntünün detayları MS görüntüsüne oransal olarak aşağıdaki biçimde eklenir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= R + \frac{R}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} \\ G_{yeni} &= G + \frac{G}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} \\ B_{yeni} &= B + \frac{B}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} \\ NIR_{yeni} &= NIR + \frac{NIR}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} \end{aligned} \quad (3.29)$$

AWLP yönteminin sonuçları da AWL yöntemiyle benzerlik göstermekle beraber çok daha hızlı bir yöntemdir. Hem AWL hem AWLP yöntemlerindeki sorun, kaynak görüntülerinin histogramlarının benzer olmadığı durumlarda renk bilgisinin yeterice korunamaması ve bazı yapaylıkların (artifacts) sonuç görüntüsünde ortaya çıkmasıdır.

3.3.5 Geliştirilmiş AWLP (IAWP)

AWLP nin füzyon sonuçlarına yapaylıklar eklemesini engellemek amacıyla geliştirilen bu metotta, PAN görüntünün detaylarından, PAN görüntünün MS çözünürlüğündeki yaklaştığı olan $\widetilde{PAN}$ görüntüsünün detayları çıkarılarak, elde edilen yeni detayların MS görüntüye ilave edilmesi önerilmiştir (Kim ve diğ, 2011). Burada, PAN görüntüsünün çözünürlüğü düşürülürken spektral bilgilerin korunabilmesi için MTF (Modulation Transfer Function) denilen yöntem kullanılır. Bu yöntemle ilgili bilgi ilerleyen bölümlerde anlatılmaktadır. Metotla ilgili aşamalar aşağıda verilmiştir (Kim ve diğ, 2011).

Aşama 1: PAN görüntü, ATWT ile n tane wavelet düzlemine ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{l=1}^n w_{PAN_l} + PAN_n \quad (3.30)$$

Aşama 2: PAN görüntünün bir yaklaşıklığı olan $\widehat{PAN}$ görüntüsü de n tane wavelet düzlemine ayrıştırılır. Buradaki $\widehat{PAN}$ görüntüsü, PAN görüntüsünün MS görüntüsü ile aynı uzamsal çözünürlükteki karşılığıdır.

$$\widehat{PAN} = \sum_{l=1}^n w_{\widehat{PAN}_l} + \widehat{PAN}_n \quad (3.31)$$

Aşama 3: PAN ve $\widehat{PAN}$ görüntünün detayları MS görüntüsünün içerisine oransal olarak aşağıdaki biçimde eklenir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= R + \frac{R}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{j=1}^n w_{(PAN_l - \widehat{PAN}_l)} \\ G_{yeni} &= G + \frac{G}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{j=1}^n w_{(PAN_l - \widehat{PAN}_l)} \\ B_{yeni} &= B + \frac{B}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{j=1}^n w_{(PAN_l - \widehat{PAN}_l)} \\ NIR_{yeni} &= NIR + \frac{NIR}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{j=1}^n w_{(PAN_l - \widehat{PAN}_l)} \end{aligned} \quad (3.32)$$

Bu yöntemle, diğer yöntemlerdeki gibi yüksek geçiren değil, sınırlandırılmış detay enjekte edilmiş olur. IAWP yönteminin sonucunda, AWLP de ortaya çıkan yapaylıklar büyük oranda kaybolurken, detay bilgisinin de bir miktar kaybolduğu görülür.

3.3.6 Context Based Decision Enjeksiyonuyla Füzyon (CBD)

CBD yöntemi toplamsal ATWT yöntemindeki gibi PAN görüntünün wavelet düzlemlerinin MS bantlarına ilave edilmesiyle elde edilir. Ancak, burada wavelet düzlemleri belirli bir ağırlık katsayısı ile çarpıldıktan sonra MS görüntüye ilave edilir. Her MS bandı için ayrı ayrı hesaplanan bu katsayı, aşağıdaki biçimde elde edilir (Garzelli ve Nencini, 2005).

$$\alpha_c^l(i, j) = \begin{cases} \min \left\{ \frac{\sigma_{MS}(i, j)}{\sigma_{PAN_l}(i, j)}, c \right\}, & \rho(i, j) \geq \theta^{(l)} \\ 0, & \rho(i, j) < \theta^{(l)} \end{cases} \quad (3.33)$$

Burada $\rho(i, j)$, MS ile PANl arasında, (i, j) pixelini merkez alan $N \times N$ lik bir pencerede hesaplanan lokal korelasyon katsayısıdır. N pencere boyu 7 ile 11 arasında olmalıdır. Burada, eşik değeri (θ), $0 < \theta^{(l)} \leq 1$ olmalıdır. θ hesaplanırken, PAN görüntüsünün spektral özellikleri dikkate alınabilir. Örneğin, ρ_{IP} , MS ile PAN görüntü arasındaki global korelasyon katsayısı olmak üzere $\theta^{(l)} = 1 - \rho_{IP}$ olarak hesaplanabilir. Kırpma katsayısı c ise empirik olarak $2 \leq c \leq 3$ olacak şekilde belirlenir. Son olarak (3.25) şu şekilde değiştirilir (Garzelli ve Nencini, 2005).

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + R \\ G_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + G \\ B_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + B \\ NIR_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + NIR \end{aligned} \quad (3.34)$$

Burada α_c^l , tüm pikseller için hesaplanan $\alpha_c^l(i, j)$ değerlerini içeren matrisi ifade etmektedir. Bu yöntemde MS ile PAN görüntülerinin istatistiksel özellikleri de hesaba katıldığından; MS ile PAN görüntülerinin birbirine benzerliğinin çok az olduğu ($\theta^{(l)}$ değerinden daha küçük olduğu) durumda hiç detay ilave edilmezken, benzerliğin daha fazla olduğu durumda detay ilavesi yapılmaktadır. Bu yöntem sonucunda, bazı bölgelerde detay bilgi tamamen kaybolurken, MS görüntüsüne ait renk bilgisinin daha iyi korunması beklenir.

3.3.7 Geliştirilmiş Context Based Decision Enjeksiyonuyla Füzyon (ECB)

CBD yönteminde kullanılan $\alpha_c^l(i, j)$ değerinin bazı durumlarda “0” olarak alınması, hiçbir detayın füzyon görüntüsüne geçmemesi anlamına geldiğinden, füzyon görüntüsünde istenmeyen bulanıklıkların oluşmasına sebep olur. Bunu engellemek

için geliştirilmiş bir CBD metodu (ECB) önerilmiştir. CBD ile arasındaki tek fark, $\alpha_c^l(i, j)$ nin hesaplanışındadır (Garzelli ve Nencini, 2005).

$$\alpha_c^l(i, j) = \min \left\{ \frac{\rho(i, j) \sigma_{MS}(i, j)}{\bar{\rho}(i, j) \sigma_{PAN_l}(i, j)}, c \right\} \quad (3.35)$$

Burada $\bar{\rho}(i, j)$, MS ile PAN_l arasındaki global korelasyon katsayısıdır. (3.35) den de anlaşılacağı üzere, $\alpha_c^l(i, j)$ değeri hiçbir zaman “0” olmayacaktır, yani her durumda az veya çok bir detay ilavesi yapılacaktır. Bu sayede, CBD’ de gözardı edilen detaylar nedeniyle oluşan bulanıklık sorunları bir miktar giderilmiş olacaktır. Ayrıca, korelasyon bilgilerinin ilave edilmesi sayesinde, CBD’ deki bazı aşırı keskinleşen bölgelerde de iyileştirme olması beklenmektedir [22]. ECB formülü aşağıdaki biçimde verilebilir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + R \\ G_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + G \\ B_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + B \\ NIR_{yeni} &= \sum_{l=1}^n \alpha_c^l w_{PAN_l} + NIR \end{aligned} \quad (3.36)$$

Burada α_c^l , tüm pikseller için hesaplanan $\alpha_c^l(i, j)$ değerlerini içeren matrisi ifade etmektedir. Hem ECB hem CBD yönteminde NxN lik pencerenin nasıl belirleneceği önemli bir sorundur. Büyük pencere boyutu daha bulanık, küçük pencere boyutu ise aşırı detay ilavesine neden olmaktadır. Ayrıca, pencere boyu, görüntünün özelliklerine (küçük detayların çok olduğu şehir bölgeleri veya daha geniş detaylı alanların olduğu kırsal bölgeler) de bağlıdır. En ideal sonucu bulmak için deneme yanılma yapılması gerekmektedir. ECB yönteminin CBD ye en önemli üstünlüğü, benzerliğin az olduğu noktalarda da detay ilavesi yapmasıdır. Böylelikle daha fazla detay bilgisi de saklanmış olur.

AWLP yönteminin, küçük detayların daha çok olduğu (şehir gibi) bölgelerde daha iyi sonuç verdiği gözlenirken, CBD ve ECB yönteminin daha geniş detayların olduğu (kırsal alan gibi) bölgelerde daha iyi performans gösterdiği görülmüştür (Luo, 2012).

4. BİLATERAL SÜZGEÇLER İLE PANKESKİNLEŞTİRME

Önceki bölümde anlatılan yöntemlerde detay ilavesi yapılırken ATWT yardımıyla elde edilen detaylar direk veya oransal olarak katılmaktadır. Yöntemlerin daha fazla iyileşmesi için ilave edilen detayların azaltılması hedeflenmiştir (IAWP). CBD ve ECB yöntemlerinde olduğu gibi detayların değişik bölgelerde farklı katsayılar ile ilave edilmesi sağlanmıştır. Daha iyi sonuçlar elde edilmesi için ilave edilen detay miktarının azaltılması, diğer bir ifadeyle, yüksek geçiren değil, sınırlı detay çıkarımı (IAWP) hedeflenmiştir.

Ayrıca, yukarıda anlatılan yöntemlerde, detay ilavesinde yapılacak değişikliklerin tamamı, detay çıkarımından sonra, detayları ağırlıklandırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Detayların çıkarımından sonra değil, çıkarım esnasında bunu yapmak da mümkündür. Tez çalışmasında önerilecek olan yöntemlerde ise detayların azaltılıp arttırılması işlemi detay çıkarımından sonra değil direkt olarak süzgeçleme işlemi esnasında gerçekleştirilecektir.

4.1 Bilateral Süzgeçler

Bilateral süzgeçler, tıpkı Gauss süzgeçleri gibi yumuşatma (smoothing) yaparlar. Gauss süzgeçlerinden en önemli farkları ise, yumuşatma işlemini gerçekleştirirken, yakın piksel değerlerini de göz önüne alarak kenar bilgilerini korumalarıdır (Paris ve diğ., 2009). Bilateral süzgeç, yakın pikselleri uzağa tercih ederken, hem geometrik yakınlık hem de fotometrik benzerlikleri dikkate alan bir yoğunluk değeri kombinasyonu oluşturur. Geometrik yakınlık, uzamsal benzerliği ifade ederken, fotometrik benzerlik, spektral benzerliği ifade eder (Hu ve Li, 2012). Dolayısıyla bilateral süzgeç, uzamsal ve spektral iki Gauss süzgecinin bir bileşimi olarak görülebilir. I giriş görüntüsü, p görüntüde süzgece girecek olan pikselin konumunu, q süzgeçte kullanılacak komşu pikselleri ifade etmek üzere, bir I görüntüsünün p pikselinin bilateral süzgeç çıkışı aşağıdaki şekilde verilebilir (Hu ve Li, 2012).

$$BF[I]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(\|I_p - I_q\|) I_q \quad (4.1)$$

Burada, W_p normalizasyon parametresini ifade eder ve aşağıdaki gibi verilir,

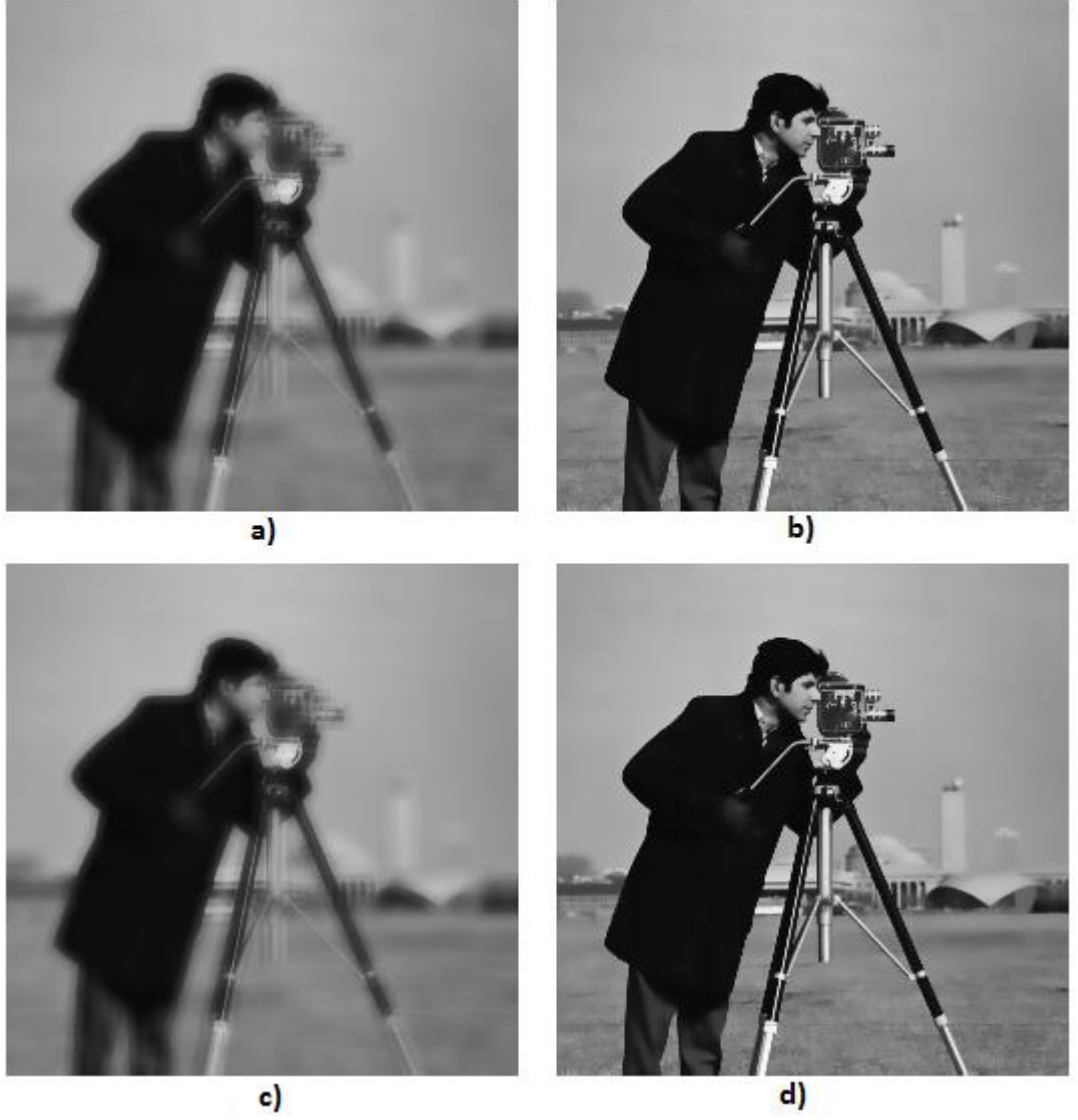
$$W_p = \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(\|I_p - I_q\|) \quad (4.2)$$

Gauss kerneli ise

$$G_{\sigma}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.3)$$

şeklindedir. Burada, G_{σ_s} uzamsal Gauss kernelini ifade eder ki; uzak piksellerin etkisini düşürür ve G_{σ_r} yoğunluk Gauss kernelidir ki; S komşulukta bulunan q pikselinin yoğunluk değeri p den farklıysa etkisini düşürür. S komşuluk değeri genellikle p pikselini merkez alan bir karesel pencereye karşı düşer. Füzyon uygulamalarında bu pencere 3x3 veya 5x5 olarak alınır.

Süzgeç çıkışını asıl etkileyen ise Gauss kernellerinin içerisindeki σ_r (uzaklık parametresi) ve σ_s (uzamsal parametre) parametreleridir. Büyük σ_r değerleri, bilateral süzgecin Gauss yumuşatmaya yaklaşmasına sebep olur. Çünkü σ_r arttıkça, piksellerin değer farkı gözardı edilir. Büyük σ_s değerleri ise büyük detayların kaybolmasına neden olur. Her iki parametrenin “0” a birlikte veya ayrı ayrı yaklaşması durumunda neredeyse hiç yumuşatma olmaz (Paris ve diğ, 2009). Sabit σ_r altında küçük ve büyük değerli σ_s ile elde edilen süzgeç çıkışları Şekil 4.1.a, b’ de görülürken; sabit σ_s altında değişen σ_r değerlerinin süzgeç çıkışına etkisi Şekil 4.1. c, d’ de görülmektedir.



Şekil 4.1 : a) $\sigma_s = 100$ b) $\sigma_s = 0.001$ c) $\sigma_r = 100$ d) $\sigma_r = 0.001$ için süzgeç çıkışları.

4.2 Çokluçözünürlük Bilateral Süzgeçler ile Görüntü Ayırıştırma ve Birleştirme

Bilateral süzgeç çıkışı, yumuşatma işlemi yaptığından, orijinal görüntünün tıpkı ATWT ayrışımında olduğu gibi yaklaşıklık altbandını elde etmek için (4.1) kullanılabilir. Detay altbandını elde etmek için, ATWT ye benzer şekilde orijinal görüntüden yaklaşıklık altbandı çıkarılır (Hu ve Li, 2012).

$$D[I] = I - BF[I] \quad (4.4)$$

Tek seviye ayrışım çoğunlukla yetersiz kaldığından, bir görüntü piramidi oluşturulması gerekir. A trous wavelet dönüşümündeki mantığın bir benzerinin bilateral süzgeçlere uygulanmasıyla bilateral piramit elde etmek mümkündür (Hu ve Li, 2012). Bu piramidi oluştururken gözönünde bulundurulması gereken en önemli

şey zamanla değişmezlik özelliğini sağlamaktır. ATWT dönüşümünde bunu sağlamak amacıyla her seviyede süzgeç boyutu iki katına çıkarılırken, süzgeç değerlerinin arasına “0” eklenir. Benzer bir mantıkla, bilateral süzgecin her adımında, uzamsal σ_r parametresi iki katına çıkarılırken, uzaklık parametresi σ_s yarıya indirilir.

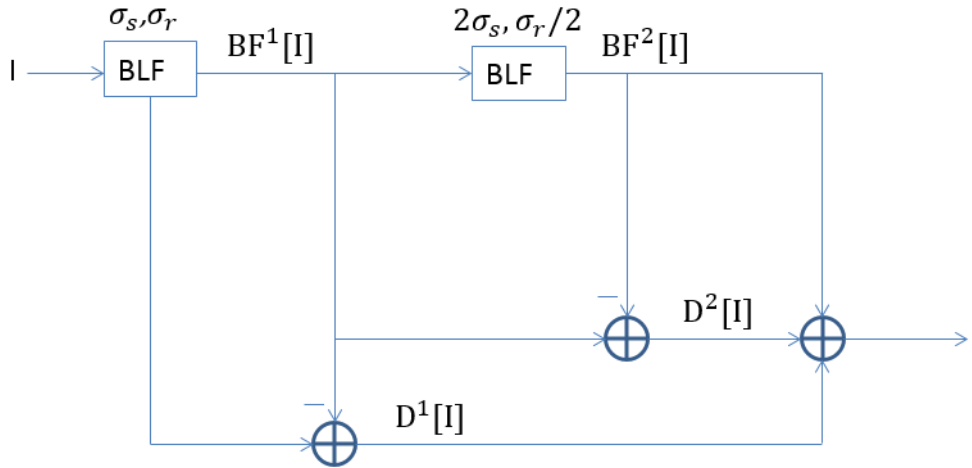
Bilateral piramidin her seviyedeki detay altbantlarına aşağıdaki denklemle ulaşmak mümkündür.

$$D^i[I] = BF^{i-1}[I] - BF^i[I] \quad (4.5)$$

Burada, i , ayrıştırma seviyesini gösterirken, başlangıç değeri olarak $BF^0[I] = [I]$ olur. L seviyeli bir ayrıştırmadan, orjinal görüntüyü (4.6) ile yeniden elde etmek mümkündür.

$$I = \sum_{i=1}^L D^i[I] + BF^L[I] \quad (4.6)$$

Bilateral piramidlerle iki seviye ayrışım ve geriye çatma yapısı Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Çokluçözünürlük Bilateral SüzgeçlerleGörüntüAyrıştırma ve Birleştirme.

4.3 Önerilen Çokluçözünürlük Bilateral Süzgeçlere Dayalı Pankeskinleştirme Yöntemleri

Bilateral piramidin ATWT olan benzerliğini de gözönünde bulundurularak, ATWT için kullanılan füzyon yöntemlerinin burada da uygulanması mümkündür. Bilateral

süzgecin hem yakınlık hem yoğunluk ilişkisini gözönünde bulundurması sebebiyle, bu piramidi baz alan yöntemlerin ATWT yi baz alan yöntemlere göre MS görüntüsünün özelliklerini daha iyi koruması beklenirken, detay ilavesinin de ATWT ye yakın olması beklenir. ATWT yi baz alan birleştirme metotlarının benzerleri bilateral piramit için uyarlanmış olup madde madde verilmiştir.

4.3.1 Yer değiştirme metodu (BFS)

Bu yöntemde MS görüntüsünün detaylarının yerine PAN görüntüsünün detayları yerleştirilir. Yöntemin adımları aşağıda aşamalarla verilmiştir.

Aşama 1: PAN görüntüsü, Bilateral piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + BF^L[PAN] \quad (4.7)$$

Aşama 2: MS görüntünün bantları Bilateral piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

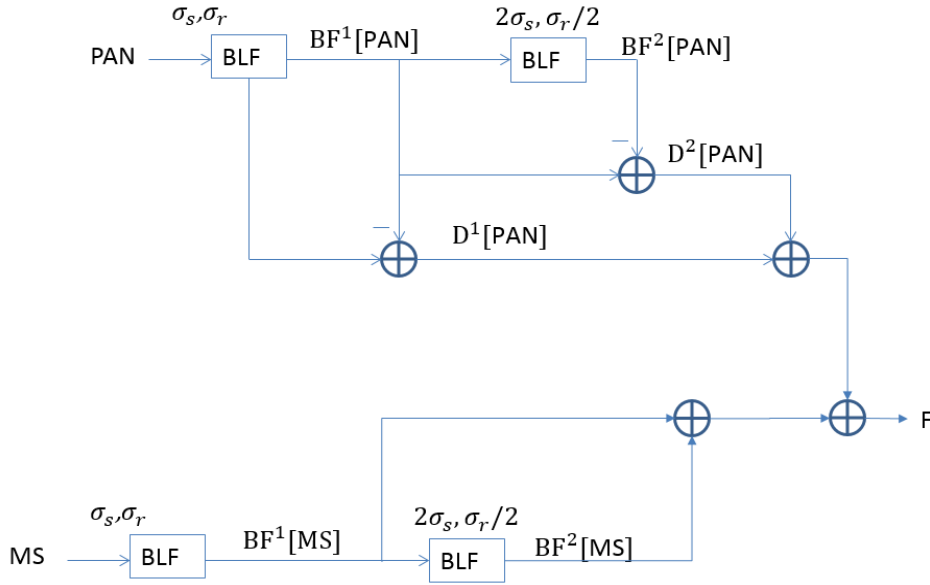
$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^L D^i[R] + BF^L[R] \\ G &= \sum_{i=1}^L D^i[G] + BF^L[G] \\ B &= \sum_{i=1}^L D^i[B] + BF^L[B] \\ NIR &= \sum_{i=1}^L D^i[NIR] + BF^L[NIR] \end{aligned} \quad (4.8)$$

Aşama 3: Her MS bandının detay altbantlarının yerine PAN' a ait detay altbantları yerleştirilir.

Aşama 4: Yeniden yapılandırma aşağıdaki şekilde uygulanır.

$$\begin{aligned}
R_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + BF^L[R] \\
G_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + BF^L[G] \\
B_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + BF^L[B] \\
NIR_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + BF^L[NIR]
\end{aligned} \tag{4.9}$$

BFS yöntemine ait 2 seviye ayrışım içeren füzyon diyagramı Şekil 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.3 : BFS metoduna ait akış diyagramı.

Bu yöntemde de tıpkı SW yönteminde olduğu gibi MS görüntüsünün özelliklerinin PAN görüntüsünden gelen detaylarla baskılandığı görülür. Dolayısıyla, füzyon görüntüsünün oldukça keskin olması, fakat renk bilgisini yitirmesi beklenir.

4.3.2 Toplamsal metot (BFA)

Bu yöntemde PAN görüntünün detay altbantları direkt olarak MS görüntünün bantlarına eklenir. Yöntemin detayları şu şekildedir.

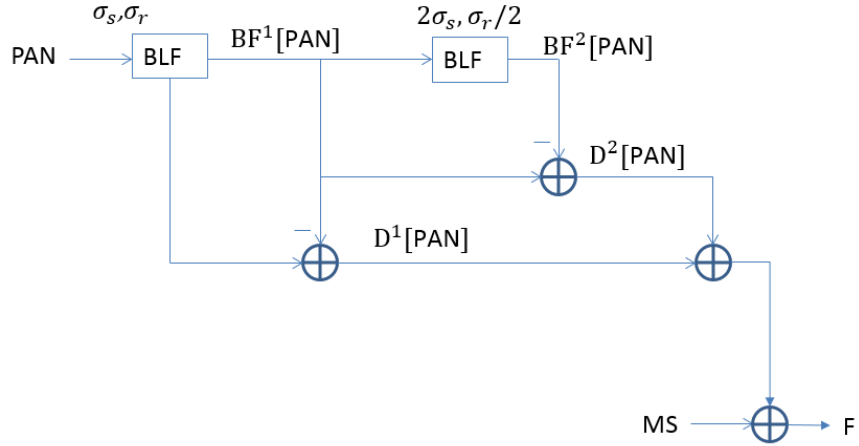
Aşama 1: PAN görüntüsü, Bilateral piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + BF^L[PAN] \quad (4.10)$$

Aşama 2: PAN görüntüsünün detayları direk olarak MS görüntüsünün bantlarına ilave edilir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + R \\ G_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + G \\ B_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + B \\ NIR_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + NIR \end{aligned} \quad (4.11)$$

BFA yöntemine ait iki seviye ayrışimli füzyon diyagramı Şekil 4.4 de verilmiştir.



Şekil 4.4 : BFA metoduna ait akış diyagramı.

ATWT deki toplamsal metotta olduğu gibi, yer değiştirme metoduna göre daha iyi sonuçlar elde edilmesi beklenir. Bilateral süzgeçte detayların elde edilmesinde göz önünde bulundurulmuş yakınlık ve yoğunluk parametreleri sayesinde ilave edilen detay miktarları değiştiğinden AW metodundan daha iyi sonuçlar elde edilir.

4.3.3 Oransal Luminans Yöntemi (BFLP)

AWLP metodunun AWL' nin daha genel ve pratik bir versiyonu olduğu için bilateral süzgeçler için sadece AWLP yöntemindeki kuralı kullanmak yeterli olacaktır. Yöntemin aşamaları şu şekildedir.

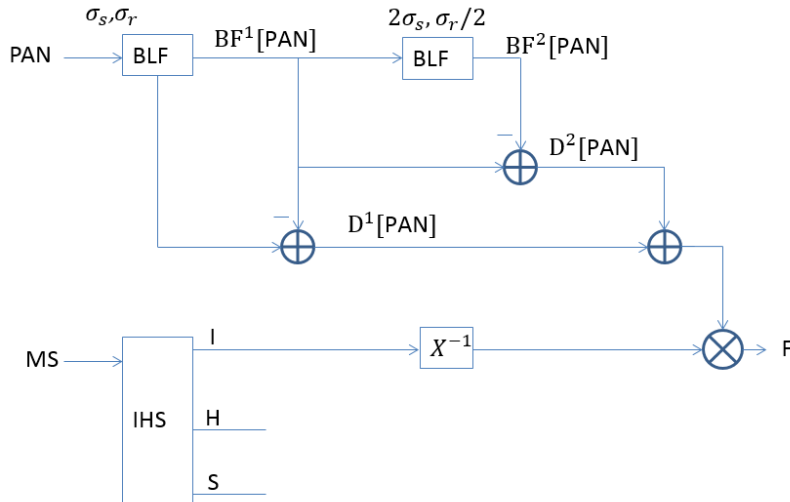
Aşama 1: PAN görüntüsü, Bilateral piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + BF^L[PAN] \quad (4.12)$$

Aşama 2: PAN görüntünün detayları MS görüntüsünün içerisine oransal olarak aşağıdaki biçimde eklenir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= R + \frac{R}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L D^i[PAN] \\ G_{yeni} &= G + \frac{G}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L D^i[PAN] \\ B_{yeni} &= B + \frac{B}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L D^i[PAN] \\ NIR_{yeni} &= NIR + \frac{NIR}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L D^i[PAN] \end{aligned} \quad (4.13)$$

BFLP yöntemine ait 2 seviye ayrışımli akış diyagramı Şekil 4.5 de verilmiştir.



Şekil 4.5 : BFLP metoduna ait akış diyagramı.

Bu yöntemde, tıpkı AWLP yönteminde olduğu gibi MS görüntüye ait renk bilgisinin daha iyi korunması hedeflenir. Bu yöntemde daha önce de ifade edildiği gibi, detay hesabı yapılırken dikkate alınan uzamsal ve yoğunluk benzerlikleri sayesinde, AWLP yönteminde ortaya çıkan renk bozulmaları daha az oranda görülürken, detay ilavesinin de AWLP den daha iyi olduğu görülür.

Yine CBD ve ECB yöntemine benzer bilateral süzgeçleri baz alan yöntemleri önermek mümkündür. Fakat CBD ve ECB de detayların azaltılması veya artırılması işlemi zaten bilateral süzgecin kendisinde var olduğundan yöntemin iyi sonuç vermesi beklenemez.

4.3.4 Parametre Seçimi

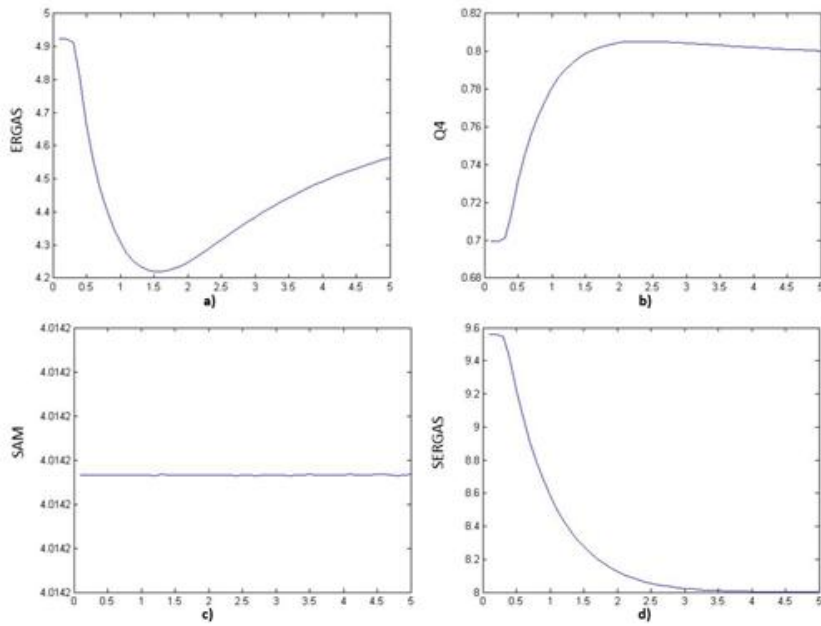
Bilateral süzgecin performansını etkileyen en önemli ayrıntı σ_s ve σ_r parametreleridir. Bu parametrelerin nasıl seçileceği füzyon sonucunun performansını doğrudan etkilemektedir. Bilateral süzgeçlerin giriş kısmında da ifade edildiği gibi bu parametrelerin çok küçük seçilmesi halinde, yumuşatma işlemi gerçekleştirilemeyeceği için PAN görüntüsünden çok az detay bilgisi çıkarılacaktır. Bu durum, füzyon görüntüsünde PAN detaylarının bulunmamasına neden olur. Çok büyük parametre seçilmesi halinde ise füzyon görüntüsü Gauss yöntemine yakınsar ki sonucun oldukça kötü olması anlamına gelir.

Parametre seçimi için Şekil 4.6. da görülen farklı uydulardan alınan farklı özelliklerde görüntü kütüphanesi üzerinde pankeskinleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olup, optimum parametre değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

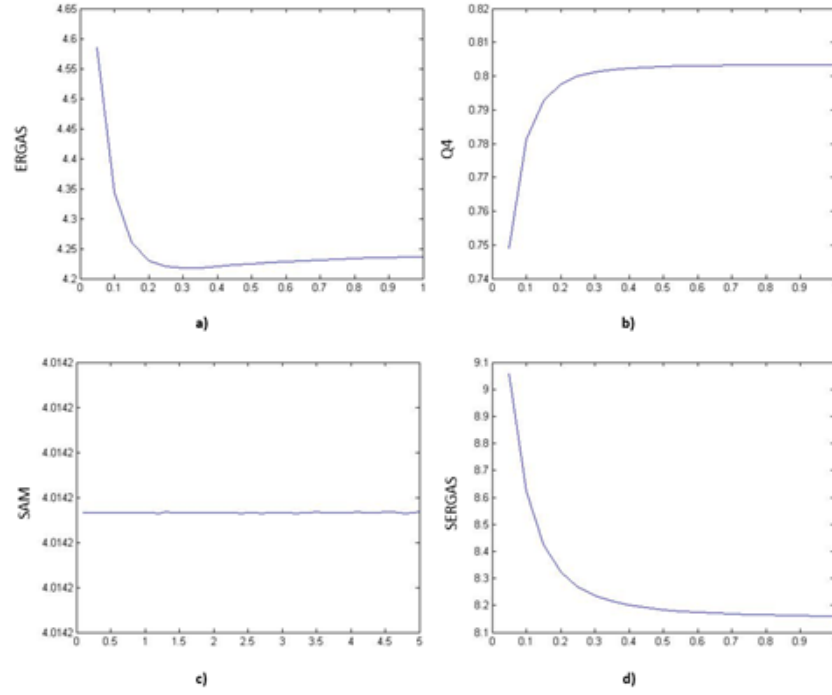


Şekil 4.6 : Farklı uydulardan alınan görüntülerle oluşturulan görüntü kütüphanesi.

Bu amaçla füzyon sonucunun ERGAS, SERGAS, Q4 ve SAM metriklerinin değişimi, sabit σ_r değeri alınarak değişen σ_s değerleri Şekil 4.7 de verilmiştir. Yine aynı metriklerin sabit σ_s değeri alınarak değişen σ_r değerleri Şekil 4.8 de verilmiştir.



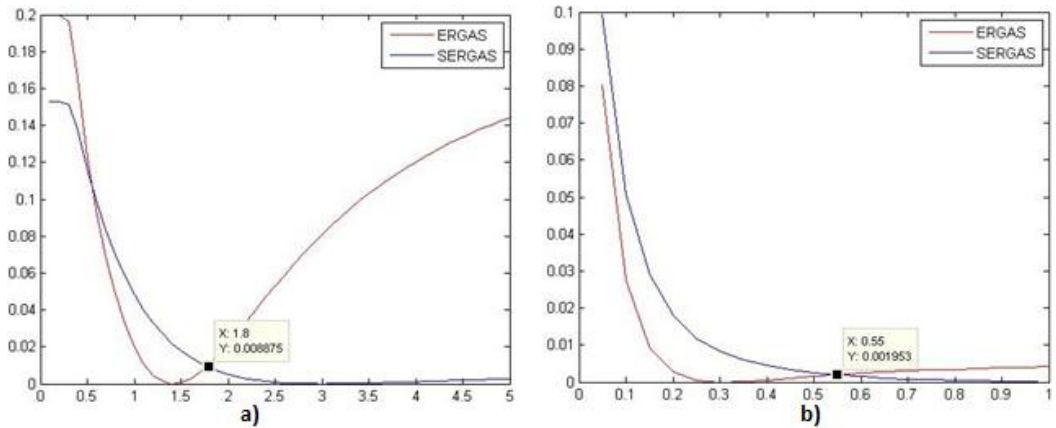
Şekil 4.7 : Değişen σ_s değerlerine karşılık değişen metrik değerleri.



Şekil 4.8 : Değişen σ_r değerlerine karşılık değişen metrik değerleri.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 de görüldüğü üzere, ERGAS ve Q4 parametrelerinin birbirine paralel şekilde iyileştiği veya kötüleştiği görülürken SERGAS parametresinin bunlardan daha farklı bir yol izlediği görülmüştür.

Optimum parametreyi bulmak için ERGAS ve SERGAS değerlerinin kesiştiği nokta olup olmadığına bakılması gerekmektedir. Bu amaçla normalize edilmiş SERGAS ve ERGAS değerlerinin sabit σ_r değerleri altında, değişen σ_s değerlerine göre değişimi ile, sabit σ_s değerleri altında, değişen σ_r değerlerine göre değişimi sırasıyla, Şekil 4.9 a) ve b) de verilmiştir. Şekillerde yapılan incelemeler sonunda, $\sigma_s = 1.8$ ve $\sigma_r = 0.6$ olarak alınabileceği görülmektedir.



Şekil 4.9 : a) Değişen σ_s b) değişen σ_r değerlerine karşılık değişen normalize edilmiş ERGAS ve SERGAS değerleri.

Farklı görüntüler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, $\sigma_s = 1.8$ değerinin tüm görüntüler için uygun olduğu görülürken σ_r değerinin çok değişken olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.6 da verilen görüntü kütüphanesinde görüntülerin tamamı incelendiğinde σ_r değerinin aşağıdaki biçimde alınmasının optimum sonuca yakınsadığı görülmüştür.

$$\sigma_r = 2 * \sigma_l \quad (4.14)$$

Burada, σ_l , bilateral süzgeç yapısının uygulanacağı görüntünün standart sapmasıdır.

Sonuç olarak, bilateral süzgeçleri temel alan ve yukarıda anlatılan yöntemler için, $\sigma_s = 1.8$ ve $\sigma_r = 2 * \sigma_l$ olarak alınacaktır.

4.3.5 Uyarlamalı Toplamsal Metot (ABFA)

Bilateral süzgeci baz alan; CBD ve ECB yöntemine benzer lokal yöntemler önermek mümkündür. Fakat CBD ve ECB de detayların azaltılması veya arttırılması işlemi zaten bilateral süzgecin kendisinde var olduğundan, yöntemin iyi sonuç vermesi beklenmez. CBD ve ECB yöntemlerindeki gibi detayları ağırlıklandırmak yerine σ_r parametresinin uyarlamalı olarak değiştirildiği ve aşağıda ifadesini bulan yöntemi önermek mümkündür.

Toplamsal metotta (BFA) görüntü ayrıştırılırken tek bir σ_r parametresi kullanılması, füzyon sonuçlarında, bölgesel olarak bulanıklık veya aşırı keskinlik gibi problemlere sebebiyet vermektedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için S komşuluğu içinde σ_r parametresinin uyarlamalı olarak değiştirilmesi iyi bir çözüm olmaktadır. (i,j) pikselin konumunu ifade etmek üzere, σ_r aşağıdaki biçimde hesaplanabilir.

$$\sigma_r = \rho(i,j) \frac{\sigma_{MS}(i,j)}{\sigma_{PAN_l}(i,j)} \quad (4.15)$$

Burada $\sigma_{MS}(i,j)$ ve $\sigma_{PAN_l}(i,j)$, (i,j) pikselini merkez edinerek S komşuluğu içerisinde, sırasıyla MS ve PAN görüntülerinin standart sapmalarına karşı düşmektedir. $\rho(i,j)$ ise MS ve PAN görüntüsü arasındaki global korelasyon katsayısıdır.

σ_r parametresinin değişimi MS ve PAN görüntülerinin istatistiksel özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu sayede MS ve PAN görüntüsünün birbirine benzediği

noktalarda daha fazla detay ilave ederken, benzerliğin azaldığı yerlerde detay ilavesinin azaltılması sağlanmıştır. Dolayısıyla füzyon sonucunda MS görüntüsüne ait özellikler daha iyi korunması hedeflenmektedir. Bunun yanısıra MS ile PAN görüntülerinin standart sapmalarının oranları da gözönünde bulundurulmuştur. MS in standart sapmasının yüksek, PAN ın düşük olduğu yerlerde daha fazla detay ilave edilirken, tam tersi durumda daha az detay ilave edilmektedir.

Parametre değerlerinin S komşuluğu içinde sürekli değişken olması sebebiyle bilateral süzgeç dönüşümünü ifade eden BF yerine ABF kullanılacaktır. Bu bilgiler ışığında, ABFA yöntemi aşamalarıyla şu şekildedir.

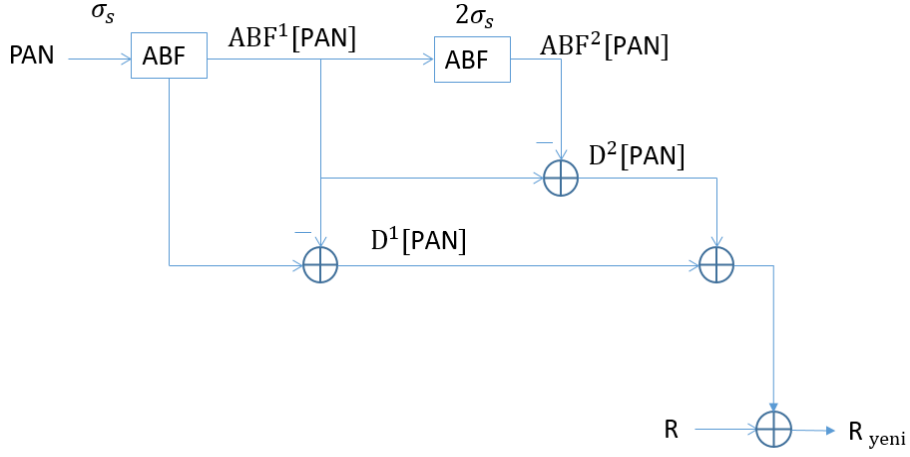
Aşama 1: PAN görüntüsü, bilateral süzgeç yapısı ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + ABF^L[PAN] \quad (4.16)$$

Aşama 2: PAN görüntüsünün detayları direk olarak MS görüntüsünün bantlarına ilave edilir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + R \\ G_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + G \\ B_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + B \\ NIR_{yeni} &= \sum_{i=1}^L D^i[PAN] + NIR \end{aligned} \quad (4.17)$$

ABFA metodu için iki seviye ayrışı içeren füzyon diyagramı Şekil 4.10 da görülmektedir.

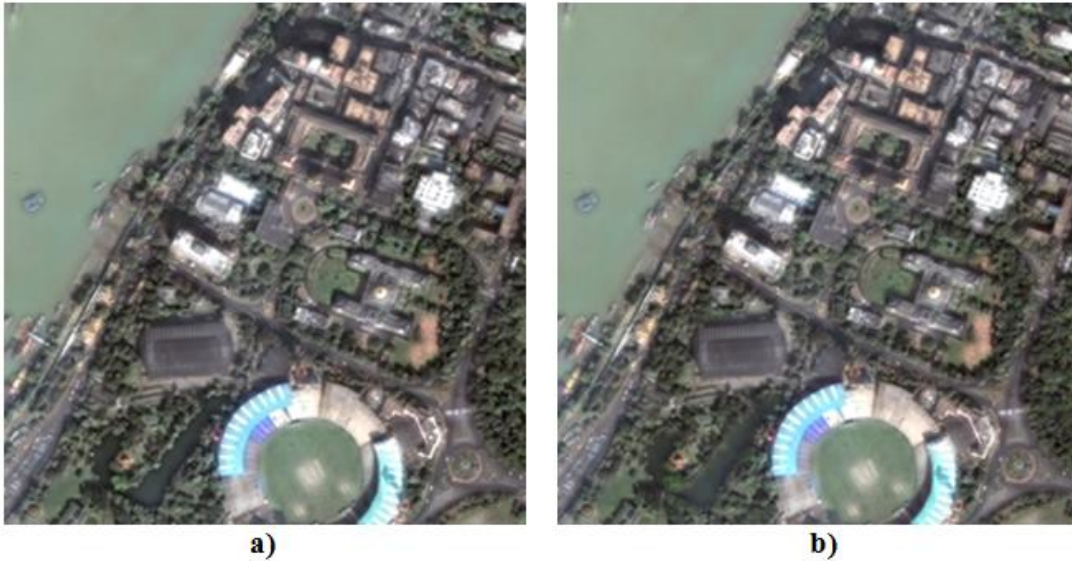


Şekil 4.10 : ABFA yöntemine ait akış diyagramı.

Yukarıdaki şekil MS görüntüsünün R bandının pankeskinleştirme diyagramını göstermektedir. Aynı işlemler her bir MS bandı için tekrarlanmalıdır. ABFA yönteminde parametrelerin uyarlamalı değişmesi sayesinde MS görüntünün bilgileri daha iyi korunurken keskinleştirmenin de daha iyi olması beklenmektedir.

Bu yöntemde belirlenmesi gereken bir diğer madde ise S komşuluğunun pencere boyutu olacaktır. Yukarıdaki görüntülerin pankeskinleştirme sonucu baz alındığında, bu komşuluğun, en iyi sonuçları 5x5' lik pencerelerde verdiği gözlemlenmiştir.

Sabit parametrelili yöntem (BFA) ile değişken parametrelili yöntem (ABFA) arasındaki farkın daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 4.11 de, aynı görüntüler için BFA ve ABFA sonuçları çizilmiştir.



Şekil 4.11 : a) BFA yöntemi b) ABFA yöntemi için pankeskinleştirme sonuçları.

Şekil 4.11 den de görüleceği üzere, sabit parametrelî yöntemin (BFA) aşırı keskinlikler oluşturduğu açıktır. Değişken parametrelî yöntemin (ABFA) ise, daha orijinaline yakın sonuç elde ettiği görülmektedir. Dolayısıyla, ABFA yönteminin, BFA yönteminden çok daha iyi sonuçlar vermesi beklenmektedir

5. AĞIRLIKLANDIRILMIŞ ATWT İLE PANKESKİNLEŞTİRME

Bilateral süzgeçler, gürültü giderme, füzyon alanlarında oldukça iyi sonuçlar vermekle beraber, çok ağır hesap yükünü de beraberinde getirmektedir. Bilateral süzgeçte kullanılan konumsal kernelin görüntüye olan etkisinin çok az olması sebebiyle ihmal edilebildiği görülmektedir. Bu yüzden konumsal kernel yerine ATWT’ de kullanılan B_3 kübik spline süzgeci kullanılmıştır. Bu da Fattal (2009) da ifadesini bulan kenar koruyan altörneklemeli dalgacıklara karşı gelmektedir. Burada, bilateral süzgeçteki σ_r parametresi gibi bir parametre yardımıyla, çokluçözünürlük ayrışımı yapılmasını sağlamaktadırlar.

5.1 Ağırlıklandırılmış ATWT (WATWT)

Daha önce de ifade edildiği gibi, altörneklemeli çokluçözünürlük ayrışmaları, zamanla değişmezlik özelliğini sağlamadıkları gibi, füzyon sonuçlarında yapaylık ve bozulmalara yol açmaktadır. Bunu engellemek için Hanika ve diğ. (2011), kenar koruyan dalgacıkları ATWT yardımıyla gerçekleştirmeyi önermiştir. I orijinal görüntü, p görüntüdeki ilgili pikselin konumunu, S piksellerin komşuluğunu ve q, bu komşuluktaki piksellerin yerini ifade etsin. Bu durumda bir I görüntüsünün p pikselinin WATWT çıkışı şu şekilde verilebilir (Hanika ve diğ, 2011).

$$W[I]_p = \frac{1}{k} \sum_{q \in S} h_0(q) c_{\sigma_r}(p, q) I_q \quad (5.1)$$

Burada, k normalizasyon parametresini ifade eder.

$$k = \sum_{q \in S} h_0(q) c_{\sigma_r}(p, q) \quad (5.2)$$

Ağırlıklandırma fonksiyonu ise aşağıdaki biçimde verilebilir (Hanika ve diğ, 2011).

$$c_{\sigma_r}(p, q) = \frac{1}{\sigma_r^2} \exp \left(-\frac{[I]_p^2 + [I]_q^2}{\sigma_r^2} \right) \quad (5.3)$$

$h_0(q)$, ATWT dönüşümünde de kullanılan B_3 kübik spline süzgecine karşı düşmektedir.

$$h_0(q) = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 4 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Bu dönüşüm yardımıyla, bilateral süzgece yakın sonuçlar elde etmekle beraber, tek parametre kullanıldığı için, işlemsel olarak daha hızlı bir yöntem geliştirilmiş olmaktadır (Hanika ve diğ, 2011). $c_{\sigma_r}(p, q)$ ağırlıklandırma fonksiyonu, p pikseli ile q pikseli arasındaki benzerlik azaldıkça, q pikselinin etkisini azaltır. Buradaki S komşuluğu ise B3 maskesinin boyutuna eşittir (5x5).

5.2 Ağırlıklandırılmış ATWT (WATWT) ile Görüntü Ayırıştırma/Birleştirme

i. seviyedeki yaklaşıklık altbantlarına aşağıdaki denklemle ulaşmak mümkündür.

$$W^i[I]_p = \frac{1}{k} \sum_{q \in S} h_{i-1}(q) c_{\sigma_r}^{i-1}(p, q) W^{i-1}[I]_q \quad (5.5)$$

Zamanla değişmezlik özelliğini sağlamak için, her i seviyesinde bikübik maskenin aralarına 2^{l-1} adet “0” yerleştirilir ve σ_r parametresi her seviyede iki katına yükseltilir ve (5.6) aşağıdaki şekile dönüşür.

$$c_{\sigma_r}^{i-1}(p, q) = \frac{1}{2\pi(2\sigma_r)^2} \exp\left(-\frac{([I]_p - [I]_q)^2}{(2\sigma_r)^2}\right) \quad (5.6)$$

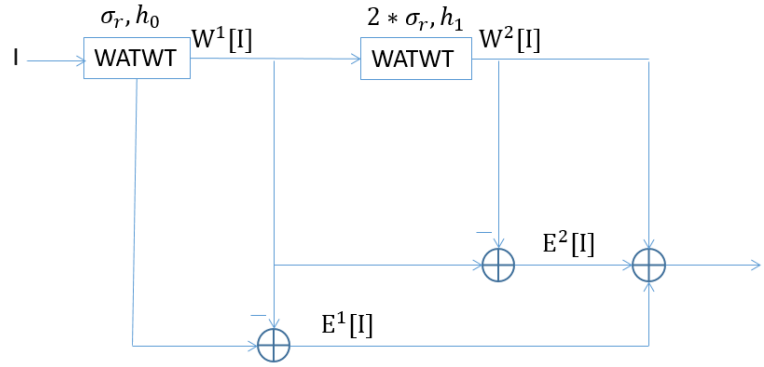
i. seviye detay altbandını bulmak için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$E^i[I] = W^{i-1}[I] - W^i[I] \quad (5.7)$$

$W^0[I]$ orijinal görüntüye karşı düşer. L seviyeli bir ayırıştırma, orijinal görüntüyü yeniden elde etmek için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$I = \sum_{i=1}^L E^i[I] + W^L[I] \quad (5.8)$$

WATWT ile 2 seviyeli görüntü ayırıştırma/birleştirme Şekil 5.1 de görülmektedir.



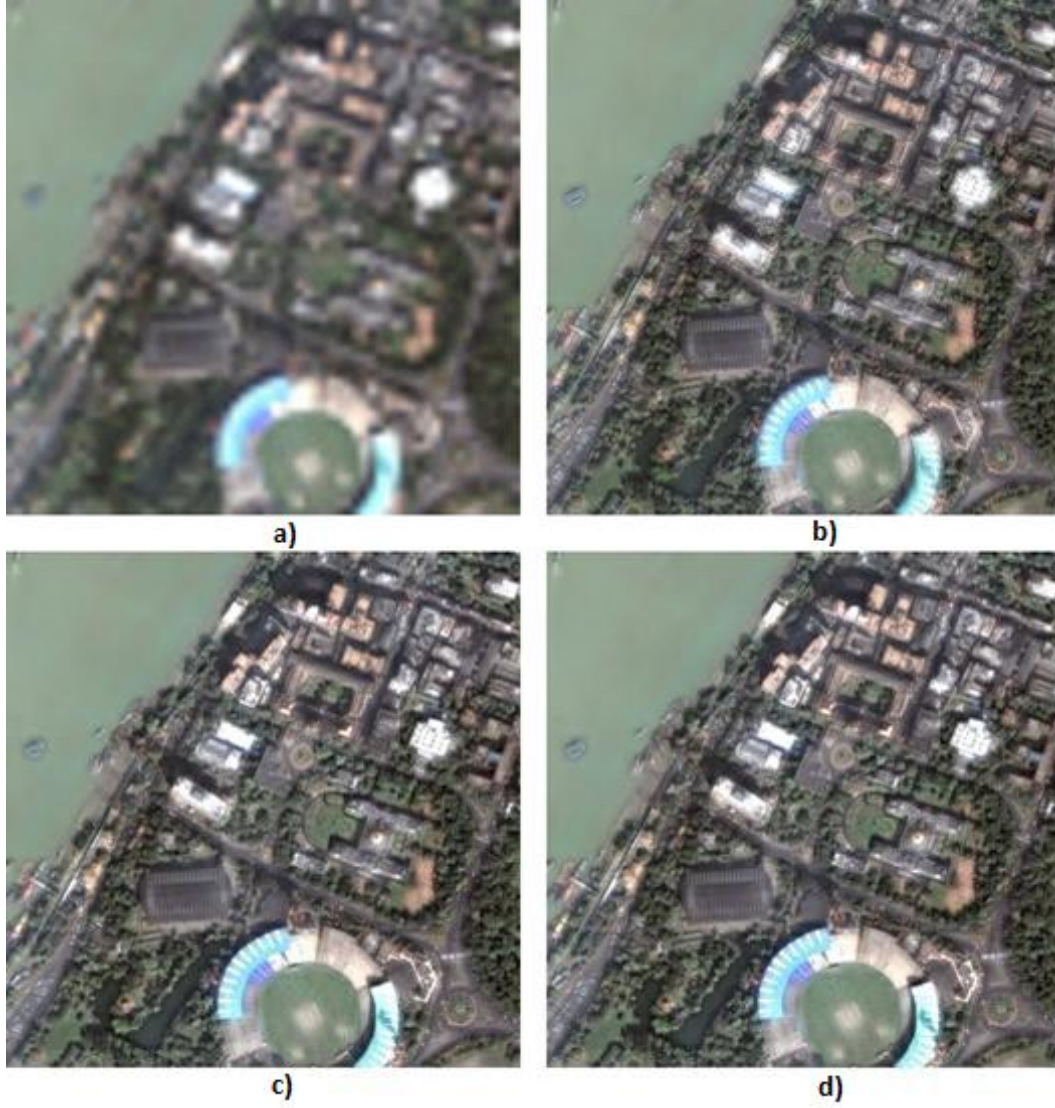
Şekil 5.1 : WATWT yöntemiyle görüntü ayrıştırma ve birleştirme.

5.3 WATWT Tabanlı Pankeskinleştirme

WATWT nin ayrıştırma ve birleştirme işlemlerinin ATWT ile olan benzerliği açıkça görülmektedir. Dolayısıyla ATWT için önerilen yöntemlerin WATWT için uyarlanması oldukça kolay olacaktır.

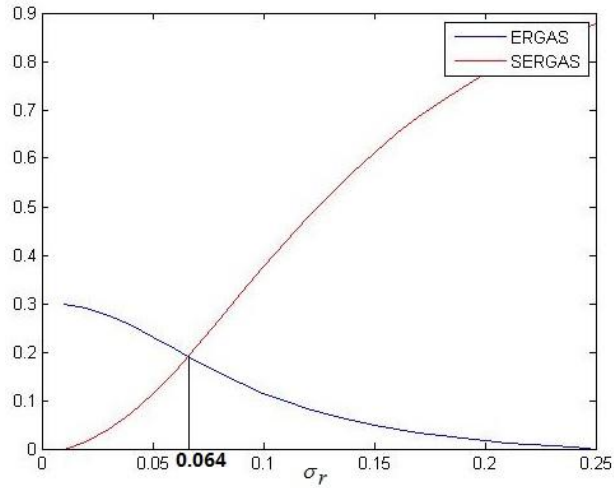
5.3.1 Parametre seçimi

WATWT performansını etkileyen en önemli şey σ_r parametresidir. Bu parametrenin nasıl seçileceği füzyon sonucunun performansını doğrudan etkilemektedir. Bu parametrenin çok küçük seçilmesi halinde, yumuşatma işlemi gerçekleştirilemeyeceği için PAN görüntüsünden çok az detay bilgisi çıkarılacaktır. Bu durum, füzyon görüntüsünde PAN detaylarının bulunmamasına neden olur. Çok büyük parametre seçilmesi halinde ise füzyon görüntüsü ATWT yöntemine yakınsar ki; bu da sonuç görüntüsünde yapaylıklar ve spektral kaymaya neden olur. Parametrelerin füzyon sonucuna nasıl etki ettiği Şekil 5.2 de görülmektedir.



Şekil 5.2 : a) $\sigma_r=0.01$ b) $\sigma_r=0.2$ c) $\sigma_r=0.5$ d) $\sigma_r=2$ ile elde edilen füzyon sonuçları.

$\sigma_r = 0.01$ durumunda sonuç görüntüsü aşırı bulanıklaşırken, $\sigma_r = 2$ durumunda aşırı keskinleşmektedir. $\sigma_r = 0.2$ olduğunda renkler daha iyi görünürken, detayların kaybolduğu gözlemlenmektedir. $\sigma_r = 0.5$ olduğunda ise detaylar korunurken, renkle ilgili kayıplar yaşandığı gözlemlenebilir. Şekil 5.3 de görülen grafikte değişen σ_r değerlerine karşı düşen ERGAS ve SERGAS değerlerinin optimize olduğu nokta 0.064 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.3 : Değişen σ_r ile elde edilen normalize ERGASve SERGAS değerleri.

5.3.2 Yer değiştirme metodu (WSW)

Bu yöntemde PAN görüntüsünden elde edilen detay bilgileri, MS den elde edilen detay bilgilerinin yerine geçirilir. Yöntemin aşamaları şu şekilde verilebilir.

Aşama 1: PAN görüntüsü, WATWT piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + W^L[PAN] \quad (5.9)$$

Aşama 2: MS görüntünün bantları WATWT piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

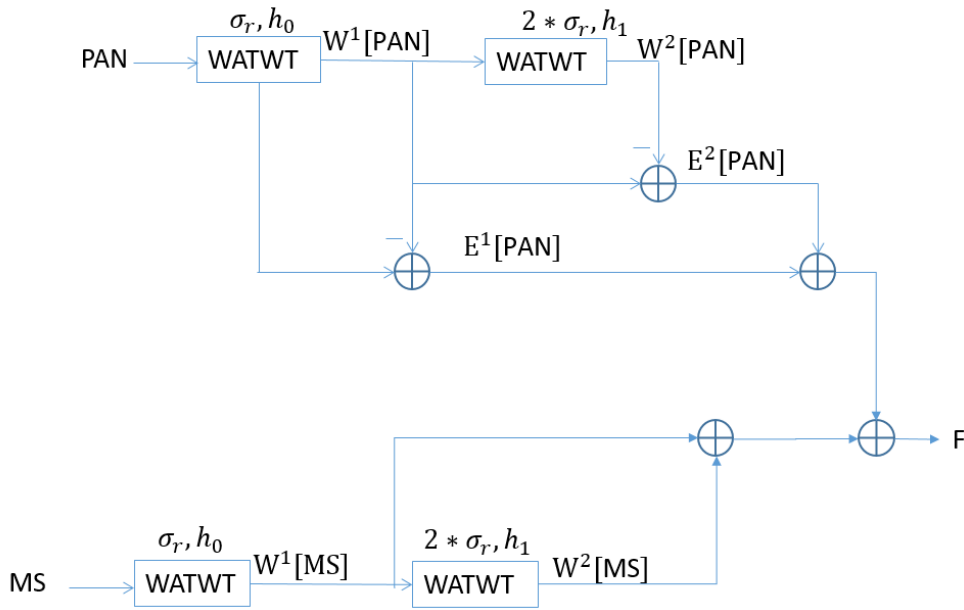
$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^L E^i[R] + W^L[R] \\ G &= \sum_{i=1}^L E^i[G] + W^L[G] \\ B &= \sum_{i=1}^L E^i[B] + W^L[B] \\ NIR &= \sum_{i=1}^L E^i[NIR] + W^L[NIR] \end{aligned} \quad (5.10)$$

Aşama 3: Her MS bandının detay altbantlarının yerine PAN' a ait detay altbantları yerleştirilir.

Aşama 4: Yeniden yapılandırma aşağıdaki şekilde uygulanır.

$$\begin{aligned}
R_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + W^L[R] \\
G_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + W^L[G] \\
B_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + W^L[B] \\
NIR_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + W^L[NIR]
\end{aligned} \tag{5.11}$$

WSW yöntemine ait 2 seviyeli ayrıştırma içeren füzyon diyagramı Şekil 5.4 de görülmektedir.



Şekil 5.4 : WSW yöntemine ait akış diyagramı.

Diğer yer değiştirme metotlarındaki aşırı detay ilavesi bu yöntemde de görülmektedir.

5.3.3 Toplamsal metot (WAW)

Bu yöntemde PAN görüntünün detay altbantları direkt olarak MS görüntünün bantlarına eklenir [15].

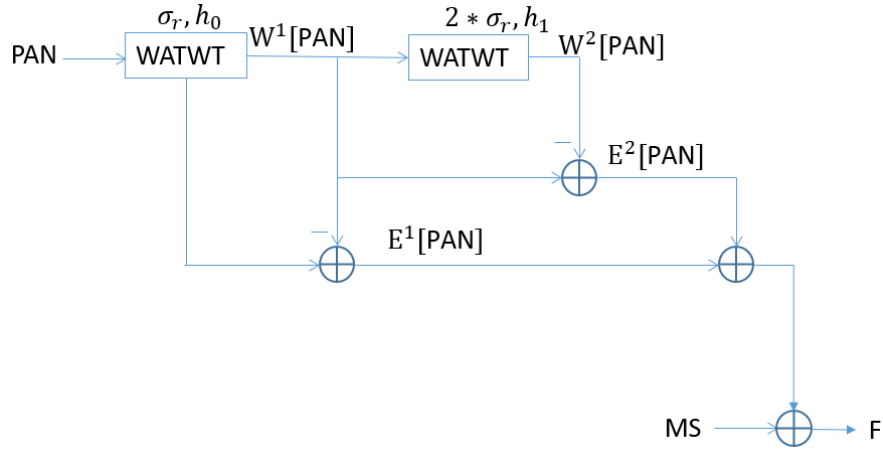
Aşama 1: PAN görüntüsü, WATWT piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + W^L[PAN] \quad (5.12)$$

Aşama 2: PAN görüntüsünün detayları direk olarak MS görüntüsünün bantlarına ilave edilir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + R \\ G_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + G \\ B_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + B \\ NIR_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + NIR \end{aligned} \quad (5.13)$$

WAW metodu için iki seviye ayrıştı içeren füzyon diyagramı Şekil 5.5 de görülmektedir.



Şekil 5.5 : WAW yöntemine ait akış diyagramı.

Diğer toplamsal metotlarda olduğu gibi bu metot da yer değiştirme metodundan daha iyi sonuçlar vermektedir. WATWT dönüşümünün bilateral süzgece daha yakın olduğu göz önünde bulundurulunca, sonuçların BFA yöntemine daha yakın olması beklenir.

5.3.4 Oransal Luminans Yöntemi (WAWLP)

BFLP metodunun bir benzerinin WATWT ile yapmak mümkündür. Bu yöntemin aşamaları aşağıda verilmiştir.

Aşama 1: PAN görüntüsü, WATWT piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

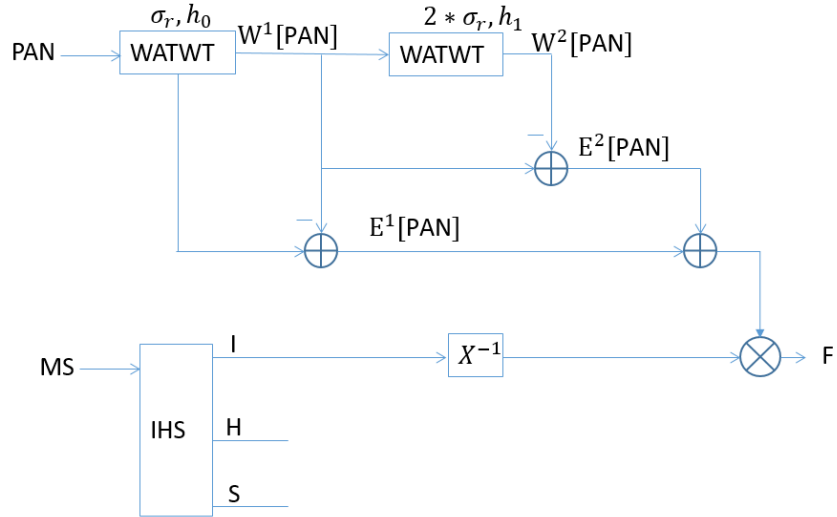
$$PAN = \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + W^L[PAN] \quad (5.14)$$

Aşama 2: PAN görüntünün detayları MS görüntüsünün içerisine oransal olarak aşağıdaki biçimde eklenir.

$$\begin{aligned} R_{yeni} &= R + \frac{R}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L E^i[PAN] \\ G_{yeni} &= G + \frac{G}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L E^i[PAN] \\ B_{yeni} &= B + \frac{B}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L E^i[PAN] \\ NIR_{yeni} &= NIR + \frac{NIR}{(R + G + B + NIR)/4} \sum_{i=1}^L E^i[PAN] \end{aligned} \quad (5.15)$$

Bu yöntemde, tıpkı AWLP yönteminde olduğu gibi MS görüntüye ait renk bilgisinin daha iyi korunması hedeflenir. Bu yöntemde daha önce de ifade edildiği gibi, detay hesabı yapılırken dikkate alınan uzamsal ve yoğunluk benzerlikleri sayesinde, AWLP yönteminde ortaya çıkan renk bozulmaları daha az oranda görülürken, detay ilavesinin de AWLP den daha iyi olduğu görülür.

2 seviye ayrıştırma içeren WAWLP yönteminin akış diyagramı Şekil 5.6 da görülmektedir.



Şekil 5.6 : WAWLP yöntemine ait akış diyagramı.

Şekilde kutu içerisindeki X^{-1} , girişin çarpmaya göre tersini almak anlamına gelmektedir.

5.3.5 Uyarlamalı Toplamsal Metot(AWAW)

WATWT yi baz alan; CBD ve ECB yöntemine benzer lokal yöntemler önermek mümkündür. Fakat CBD ve ECB de detayların azaltılması veya artırılması işlemi zaten WATWT süzgecin kendisinde var olduğundan, tıpkı bilateral süzgeçlerde olduğu gibi yöntemin iyi sonuç vermesi beklenmez. Bu metotta, tıpkı ABFA metodunda olduğu gibi, σ_r parametresinin uyarlamalı olarak değiştirilmesi hedeflenmektedir.

(4.15) de ifadesini bulan uyarlamalı σ_r parametre hesabı bu yöntemde uygulanabilmektedir. ABFA’ dan farklı olarak, pencere boyutu belirlemek yerine, ATWT için kullanılan kübik spline süzgecinin pencere boyutu alınmıştır.

Parametre değerlerinin S komşuluğu içinde sürekli değişken olması sebebiyle WATWT dönüşümünü ifade eden W yerine AW kullanılacaktır. Bu bilgiler ışığında, AWAW yöntemi aşamalarıyla şu şekilde verilebilir.

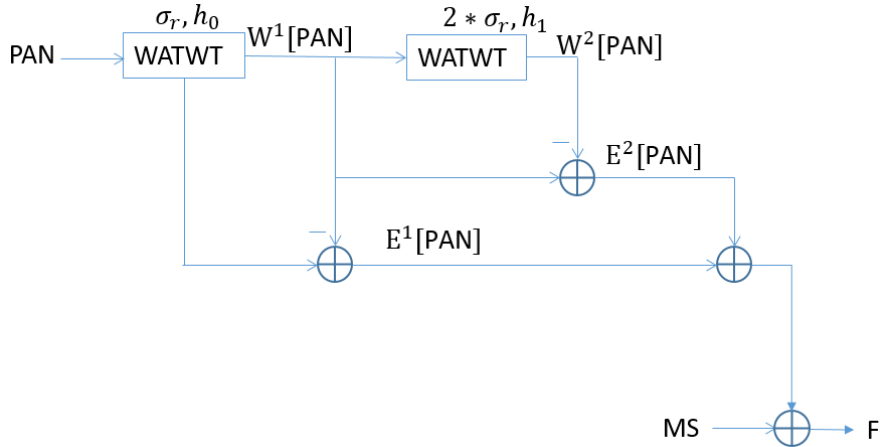
Aşama 1: PAN görüntüsü, WATWT piramit ile L tane detay altbandına ayrıştırılır.

$$PAN = \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + AW^L[PAN] \quad (5.16)$$

Aşama 2: PAN görüntüsünün detayları direk olarak MS görüntüsünün bantlarına ilave edilir.

$$\begin{aligned}
 R_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + R \\
 G_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + G \\
 B_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + B \\
 NIR_{yeni} &= \sum_{i=1}^L E^i[PAN] + NIR
 \end{aligned} \tag{5.17}$$

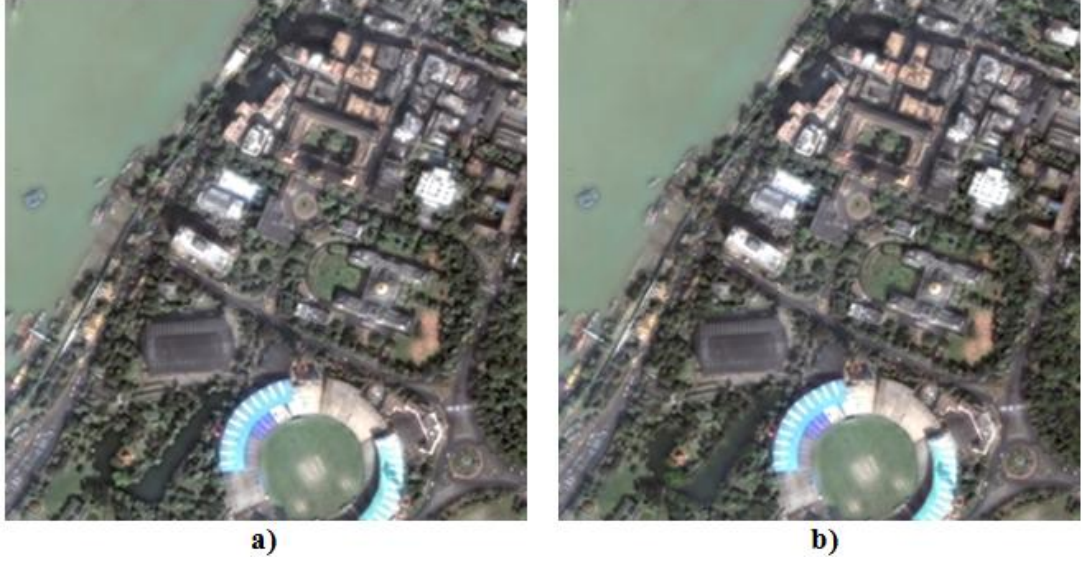
WAW metodu için iki seviye ayrıştı içeren füzyon diyagramı Şekil 5.7 de görülmektedir.



Şekil 5.7 : AAW yöntemine ait akış diyagramı.

AAW yönteminde parametrelerin uyarlamalı değişmesi sayesinde MS görüntünün bilgileri daha iyi korunurken keskinleştirmenin de daha iyi olması beklenmektedir.

Sabit parametrelili yöntem (WAW) ile değişken parametrelili yöntem (AAW) arasındaki farkın daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 5.8 de, aynı görüntüler için WAW ve AAW sonuçları çizilmiştir.



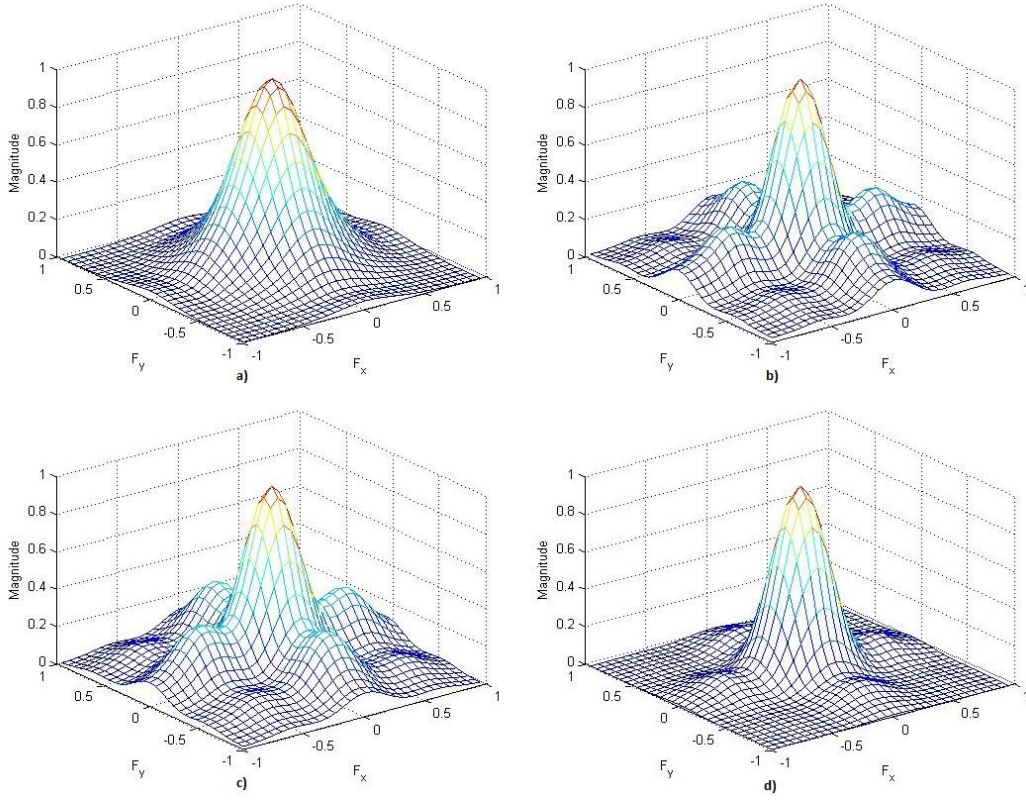
Şekil 5.8 : a) WAW yöntemi b) AWAW yöntemi için pankeskinleştirme sonuçları.

Şekil 5.8 den de görüleceği üzere, sabit parametrelili yöntemin (WAW) aşırı keskinlikler oluşturduğu açıktır. Değişken parametrelili yöntemin (AWAW) ise, daha orijinaline yakın sonuç elde ettiği görülmektedir. Dolayısıyla, AWAW yönteminin, WAW yönteminden çok daha iyi sonuçlar vermesi beklenmektedir.

6. GÖRÜNTÜ FÜZYONU UYGULAMALARI

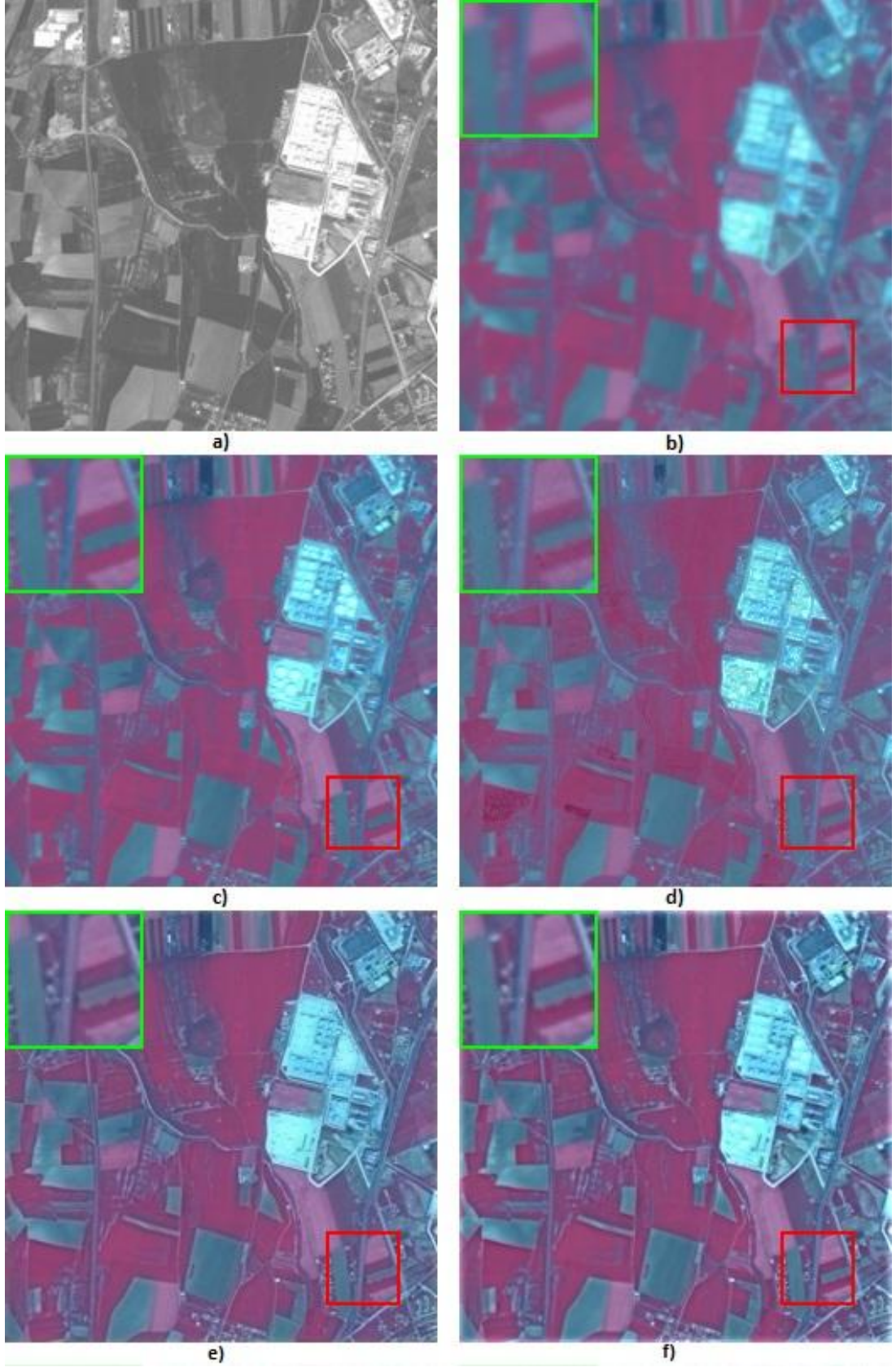
6.1 SPOT Görüntüleri İçin Sonuçlar

SPOT görüntüsünün orijinal çözünürlükleri PAN için 2.5m ve MS için 5 m dir. Bu iki görüntünün füzyonu sonucunda çözünürlüğü 2.5 m olan bir MS görüntüsü elde edilmeye çalışılmaktadır. Daha öncede ifade edildiği gibi, nicel karşılaştırmanın objektif olabilmesi için, füzyon görüntüsünün karşılaştırılabileceği orijinal bir MS görüntüsü olması gerekmektedir. Orijinal 2.5 m çözünürlüklü bir MS görüntüsü mevcut olmadığından, Wald protokolü kullanılarak, PAN görüntüsünün çözünürlüğü 5 m' ye, MS görüntüsünün çözünürlüğü ise 10 m' ye düşürülmüştür. Çözünürlüğü düşürülmüş bu görüntülerin füzyonundan, 5 m çözünürlüğe sahip yeni bir MS görüntüsü elde edilmesi amaçlanır. Orijinal MS görüntüsü, zaten 5 m olduğu için, objektif karşılaştırma yapmak mümkün hale gelmektedir. Herbir MS bandının spektral özellikleri farklı olduğundan, çözünürlükleri düşürülürken, her bir bant için ayrı MTF kullanılması gerekmektedir. Her bir MS bandı için MTF' den elde edilen alçak geçiren süzgeç eğrileri Şekil 6.1 de görülebilir.

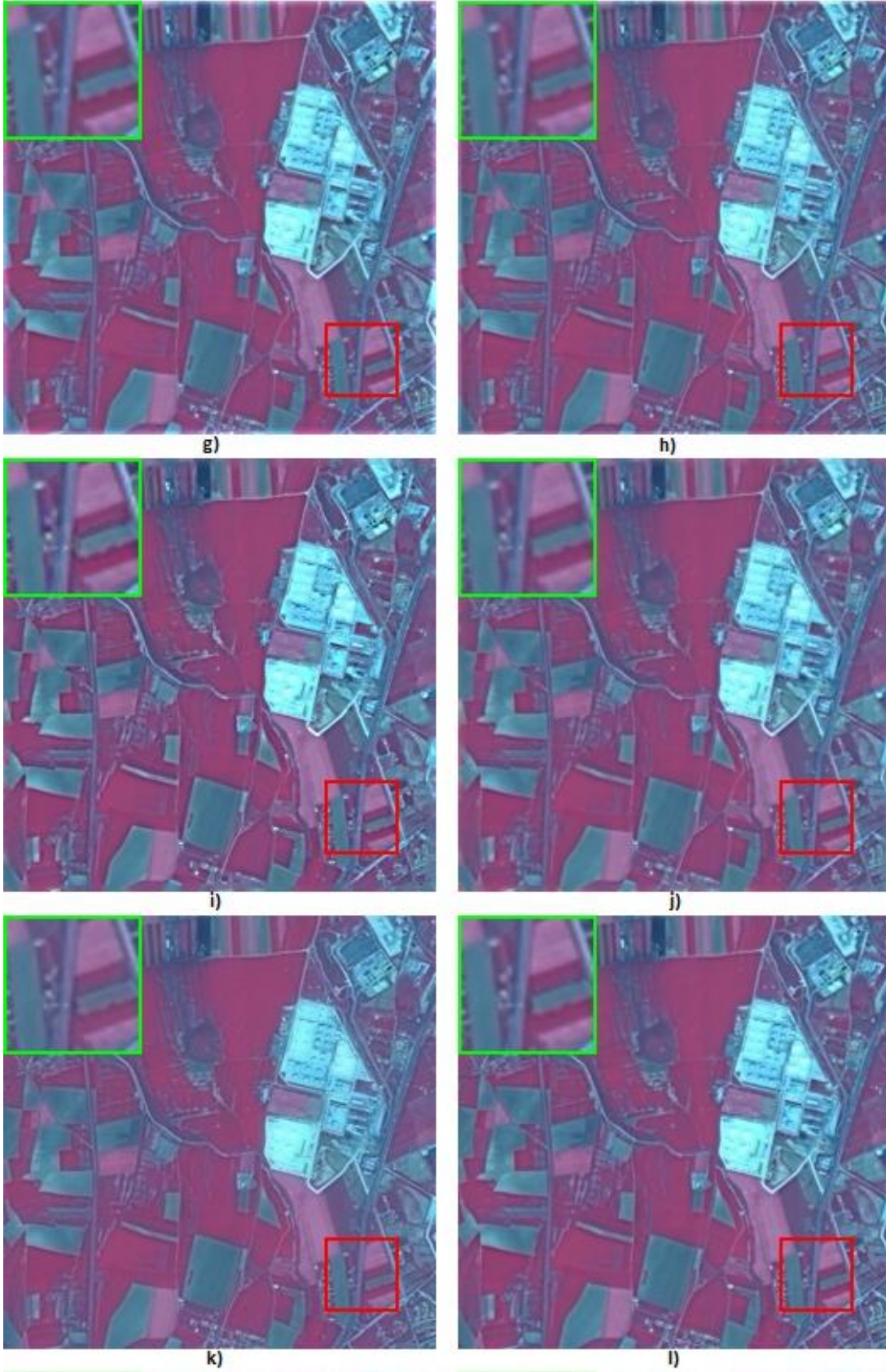


Şekil 6.1 : SPOT görüntüsü için çözünürlük indirmek için kullanılan süzgeçler **a)** Yeşil **b)** Kırmızı **c)** Yakın kızıl ötesi **d)** Kısa dalgakızılötesi.

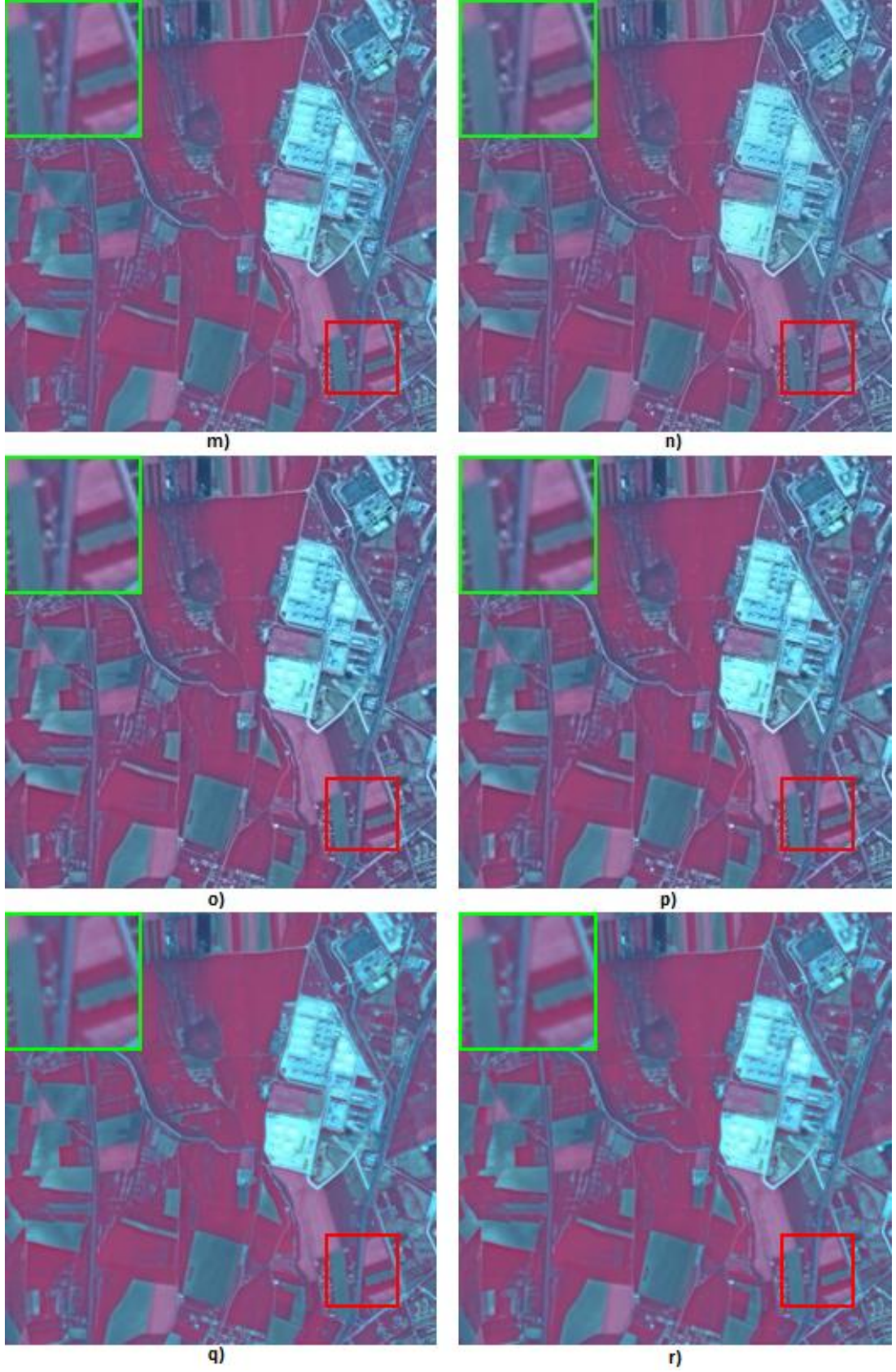
Çözünürlüğü düşürülmüş PAN ve SPOT MS görüntüleri ile referans MS görüntüsü sırasıyla Şekil 6.2.a, b ve c de görülmektedir. Füzyon sonuçları ise Şekil 6.2.d-r arasında verilmiştir.



Şekil 6.2 : a) PAN (5 m), b) MS (10 m),c) orjinal MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.2 (devam) : a) PAN (5 m), b) MS (10 m), c) orjinal MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.2 (devam) : a) PAN (5 m.), b) MS (10 m),c) orjinal MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.

Şekildeki yeşil kare içine alınmış alan, daha iyi anlaşılması için kırmızı ile işaretlenmiş alanın büyütülmüş versiyonudur. SPOT görüntüsünde, PAN görüntü ile MS görüntünün yoğunluk bileşeni arasında histogram benzeşmesi yüksek olduğu için, GIHS sonuçları oldukça iyi çıkmaktadır. Yer değiştirme metotlarının aşırı keskinleşmeye ve renk kaybına neden olduğu görülebilmektedir. Toplamsal yöntemlerden AW, WAW ve BFA yöntemleri (sabit parametrelili yöntemler), yer değiştirme metoduna nazaran daha iyi sonuçlar vermekle beraber, hala keskinlik ve renk problemi göze çarpmaktadır. Luminans yöntemlerinin (AWLP, IAWP, WAWLP ve BFLP) performanslarının iyi olduğu görülmekle beraber, dikkatli bakıldığında renk kayıpları görülmektedir. CBD yönteminde aşırı keskinlik göze çarparken, ECB yönteminde bu sorunun aşıldığı görülmektedir. Ancak iki yöntemde de renkle ilgili problemler az da olsa mevcuttur. ABFA ve AWAW yöntemlerinin, GIHS yöntemi kadar iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir.

Görsel analiz sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için, daha önce ifade edilmiş olan nicel kriterler, sırasıyla tablolarla verilmiştir. Tablolarda kırmızı renkli olanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Şekil 6.2 de ki pankeskinleştirme sonuçlarına ait RMSE değerleri Çizelge 6.1 de verilmiştir. Tabloda kırmızı renkli alanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Çizelge 6.1 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.

	RMSE				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	12.1159	9.5776	5.9517	10.1768	9.4555
SW	16.9345	8.6228	5.0520	11.4774	10.5217
AW	17.3652	14.2870	9.8840	16.5929	14.5323
AWLP	16.1020	14.0292	12.6379	15.1508	14.4800
IAWP	14.0994	11.6418	9.8564	13.0677	12.1663
CBD	14.3926	13.0156	8.2060	15.2580	12.7181
ECB	14.6029	10.4211	6.5228	11.3395	10.7216
BFS	15.0383	8.5182	5.0487	10.4569	9.7655
BFA	14.1925	10.0393	6.5630	12.6931	10.8720
BFLP	12.5562	9.6824	7.3641	11.1277	10.1826
WSW	16.3386	8.2812	5.0066	10.9212	10.1369
WAW	14.5563	10.2435	6.7940	12.9573	11.1378
WAWLP	13.8809	10.3495	8.7325	12.1402	11.2758
ABFA	8.7166	10.2980	6.8030	12.7455	9.6408
AWAW	8.7166	10.4281	6.9498	12.9255	9.7550

RMSE değerleri, füzyon sonucunda, spektral bilginin ne kadar korunduğunu ifade eder. SPOT uydusunun MS görüntüsü ile PAN görüntüsü arasında varolan histogram benzerliği nedeniyle, GIHS sonucunun oldukça iyi olduğu gözlemlenmektedir. Ardından en iyi sonucun lokal yöntem olan AWAW ile elde edildiği görülürken, bu iki yöntemi takip edenlerin ise yer değiştirme metotları olduğu görülmektedir.

Şekil 6.2 de ki pankeskinleştirme sonuçlarına ait CC değerleri Çizelge 6.2 de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Füzyon yöntemlerinin CC değerleri.

	CC				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.8600	0.9650	0.9590	0.9022	0.9216
SW	0.7233	0.9718	0.9718	0.8887	0.8889
AW	0.7403	0.9355	0.9160	0.8257	0.8544
AWLP	0.7686	0.9387	0.8839	0.8445	0.8589
IAWP	0.8184	0.9513	0.9117	0.8632	0.8862
CBD	0.8075	0.9477	0.9402	0.8495	0.8863
ECB	0.8036	0.9622	0.9576	0.8985	0.9055
BFS	0.7837	0.9723	0.9710	0.9031	0.9075
BFA	0.8151	0.9644	0.9575	0.8789	0.9039
BFLP	0.8516	0.9657	0.9486	0.8968	0.9157
WSW	0.7431	0.9739	0.9719	0.8967	0.8964
WAW	0.8058	0.9637	0.9558	0.8774	0.9007
WAWLP	0.8199	0.9634	0.9380	0.8876	0.9022
ABFA	0.9300	0.9636	0.9560	0.8800	0.9324
AWAW	0.9300	0.9631	0.9550	0.8787	0.9317

Korelasyon değerleri, MS bantlarındaki rengin ne kadar koruduğunu ifade ettiğine göre, yine GIHS, BFLP ve AWAW yöntemlerinin diğer yöntemlerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Şekil 6.2 de ki pankeskinleştirme sonuçlarına ait RM değerleri Çizelge 6.3 de verilmiştir.

Çizelge 6.3 : Füzyon yöntemlerinin RM değerleri.

	RM				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.1653	0.2604	0.1901	0.2237	0.0980
SW	0.3985	0.5865	0.0175	0.1485	0.2878
AW	1.8723	2.1204	1.5217	1.7015	1.8040
AWLP	1.2171	2.3513	2.0174	1.4848	1.7677
IAWP	0.3300	0.8990	0.7375	0.1943	0.5402
CBD	0.1992	0.5160	0.3213	0.3155	0.3380
ECB	0.7391	0.4415	0.2591	0.1022	0.3855
BFS	0.0025	0.0748	0.0578	0.4111	0.1366
BFA	0.0003	0.0806	0.0614	0.4097	0.1380
BFLP	0.1768	0.5052	0.2935	0.2388	0.0958
WSW	0.0122	0.0885	0.0667	0.3952	0.1407
WAW	0.0314	0.1145	0.0856	0.3747	0.1516
WAWLP	0.4955	0.4843	0.1689	0.3739	0.3807
ABFA	0.0237	0.0911	0.0766	0.3624	0.1384
AWAW	0.0237	0.0792	0.0629	0.3921	0.1395

Ortalama piksel değerinin ne kadar kaydıgının bir ifadesi olan RM değerlerinde en iyi sonucun BFLP yöntemiyle elde edildiği görülürken, bu yöntemi GIHS ve BFS yöntemi takip etmektedir. ATWT tabanlı yöntemlerin, bilinen spektral bias sorunu tabloda görülebilmektedir. Önerilen yöntemlerin tamamı, ATWT tabanlı metotlara oranla, daha düşük spektral biasa sahip oluğu açıkça görülmektedir.

Şekil 6.2 de ki pankeskinleştirme sonuçlarına ait SAM, ERGAS ve Q4 değerleri Çizelge 6.4 de verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Füzyon yöntemlerinin SAM, ERGAS, Q4 değerleri.

	SAM	ERGAS	SERGAS	Q4
GIHS	3.0312	2.4287	4.9466	0.8363
SW	3.4048	2.8460	4.7405	0.8141
AW	3.1758	3.7053	5.5156	0.8029
AWLP	2.9156	3.6344	5.5459	0.8030
IAWP	2.9156	3.0676	5.3649	0.8158
CBD	3.3907	3.2517	5.3471	0.7810
ECB	3.2264	2.7754	5.1497	0.8242
BFS	3.0829	2.6027	4.8682	0.8330
BFA	3.0905	2.8129	5.1130	0.8177
BFLP	2.9156	2.5904	5.1224	0.8332
WSW	3.2888	2.7382	4.7633	0.8169
WAW	3.1031	2.8801	5.1051	0.8117
WAWLP	2.9156	2.8598	5.1111	0.8094
ABFA	2.8840	2.4709	5.3327	0.8562
AWAW	2.8983	2.5003	5.3410	0.8546

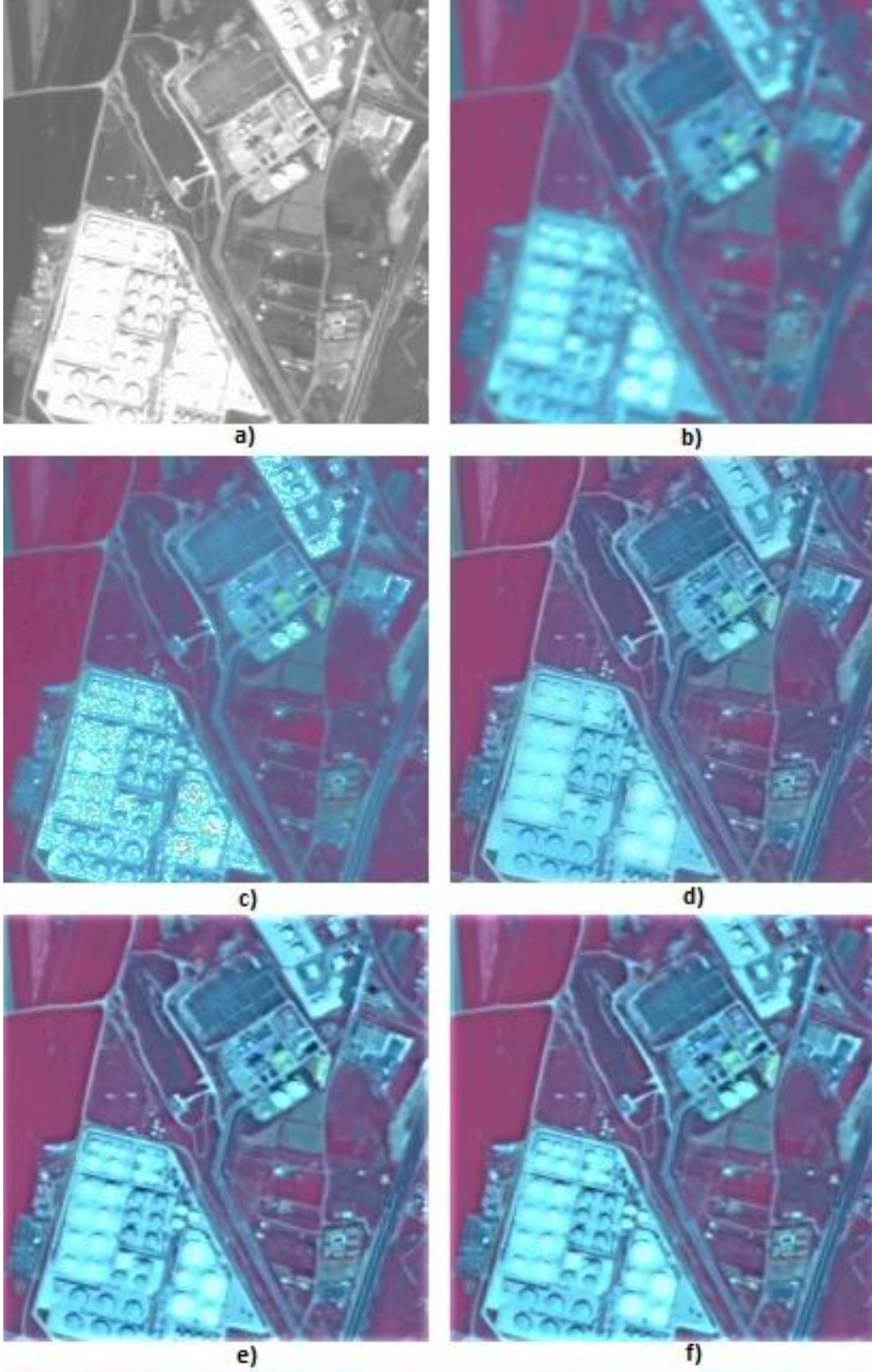
ERGAS değeri, pankeskinleştirme sonucu ile orijinal MS görüntüsü arasındaki global bir hata ifadesi olduğundan, bu değer ne kadar düşük olursa, spektral bilginin o kadar korunduğu sonucuna ulaşılır. Bu bağlamda, ERGAS değeri en iyi olan yöntem GIHS olurken, bunu AWAW ve BFLP yöntemleri takip etmektedir. SERGAS değerleri füzyon görüntüsünün histogramı uyarlanmış PAN görüntüsüyle arasındaki hatanın ifadesi olduğu için, daha fazla detay ilave eden yöntemler olan yer değiştirme metotları (SW, WSW ve BFS), beklendiği gibi, daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. SAM değeri, MS ile füzyon sonucu arasındaki açısız benzerliğin bir ifadesi olduğu için, luminans metotlarının sonucunun birbirinin aynı çıkması gerekir. Bu kriterde de en iyi sonucu AWAW alırken, bu yöntemi luminans yöntemleri takip etmiştir. Q4 değeri yine MS ile füzyon görüntüsü arasındaki global benzerliğin bir ifadesidir. Bu kriterde de en iyi sonuç AWAW yöntemi ile elde edilirken, bu yöntemi, GIHS ve BFLP yöntemleri izlemektedir.

Tüm kriterler topluca ele alındığında, en iyi yöntemlerin GIHS, AWAW ve BFLP olduğu sonucuna varılır. GIHS yönteminin iyi sonuç verebilmesi için, MS görüntüsünün parlaklık bileşeninin histogramının PAN görüntünün histogramına

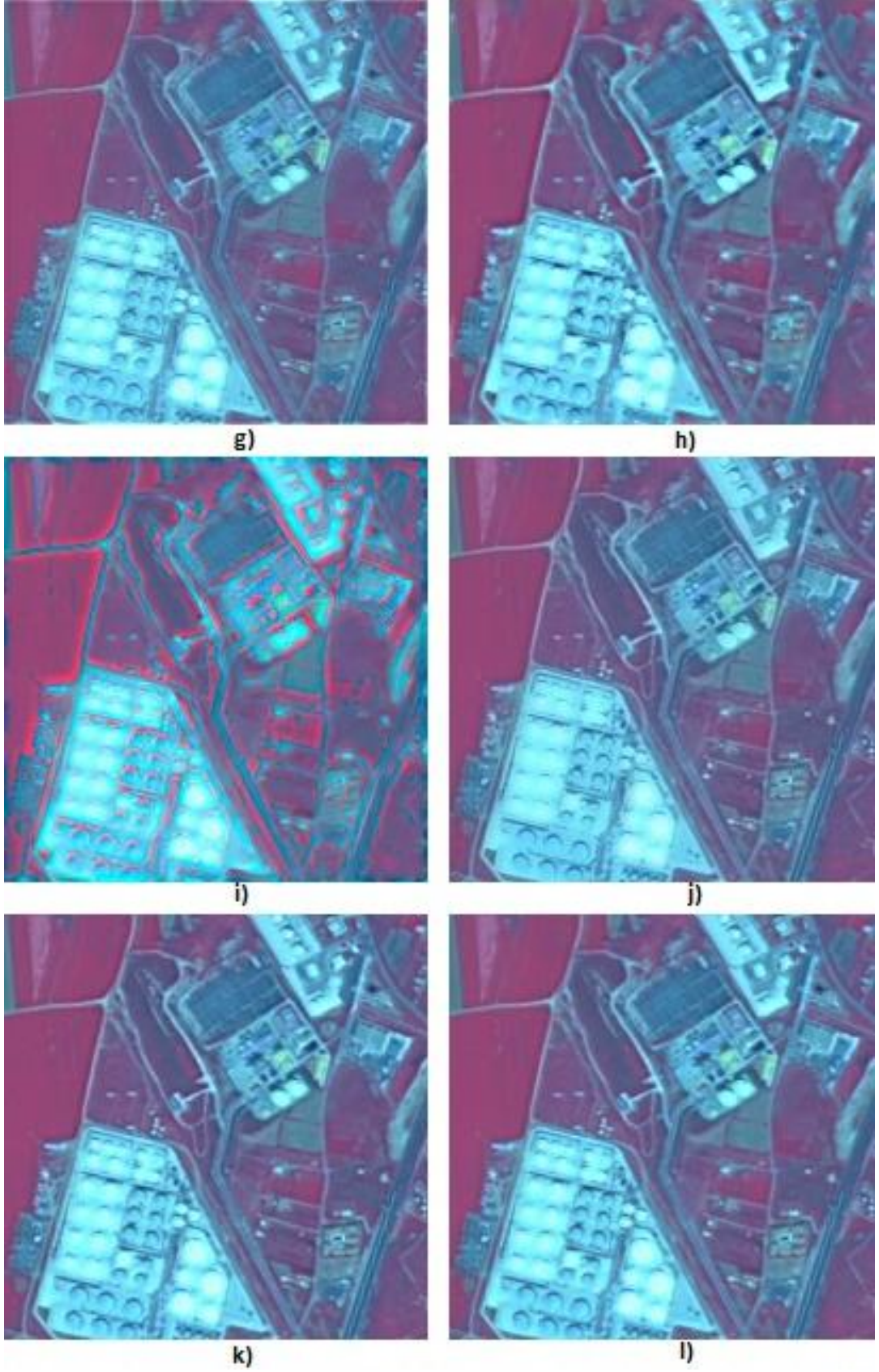
yakın olması gerekir. SPOT görüntüler bu özelliği sağladığı için, GIHS yöntemi oldukça başarılı olmuştur. Luminans yöntemleri birbirleriyle kıyaslandığında, en iyi sonuçların önerilen BFLP, IAWP ve WAWLP yöntemleri olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni de, bu yöntemlerde detay ilavesinin sınırlandırılmasıdır. Lokal yöntemler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise, AWAW yönteminin diğer yöntemlere göre, çok daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, SPOT görüntüler için önerilen yöntemlerin daha iyi çalıştığı söylenebilir.

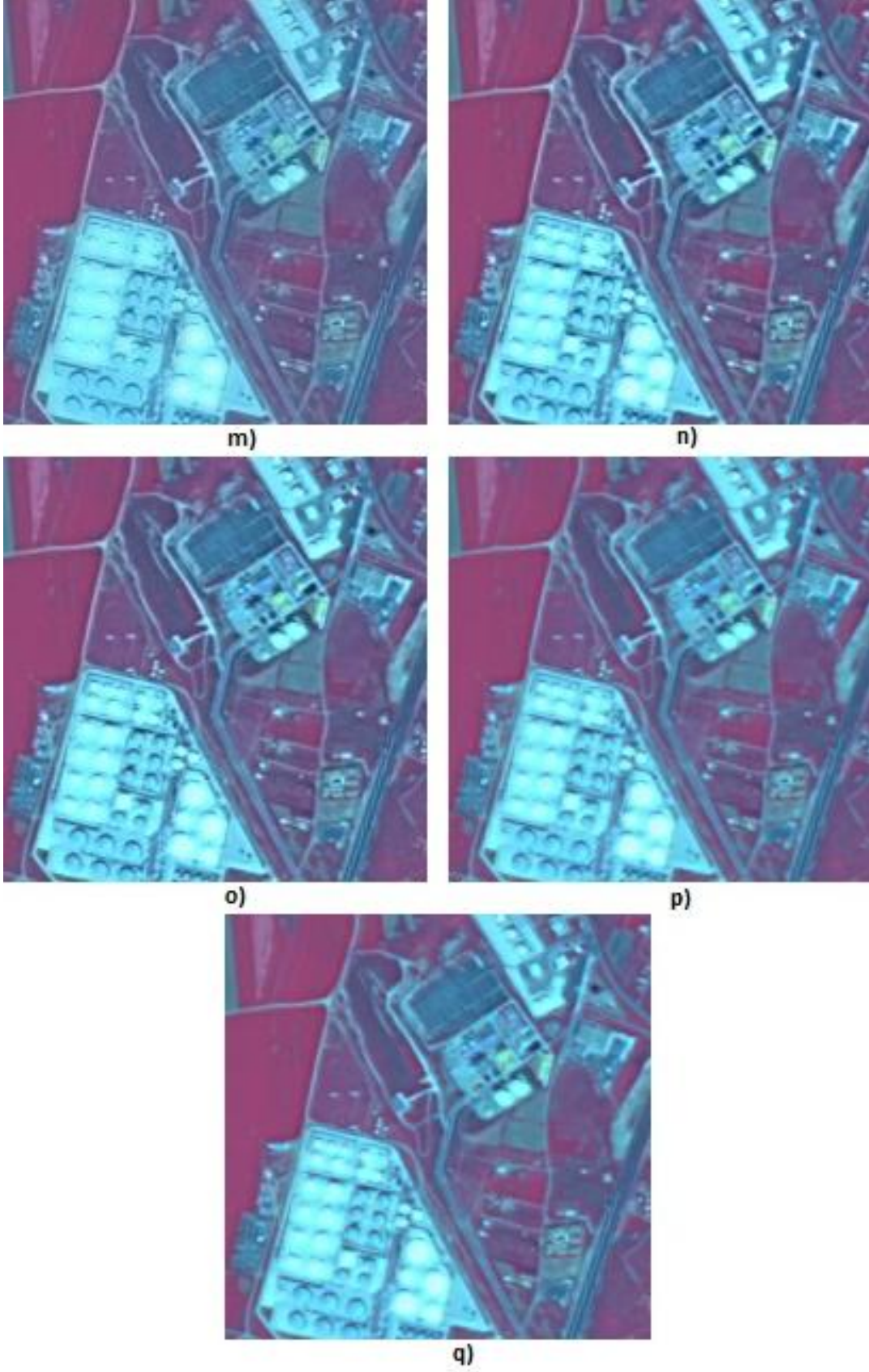
Çözünürlüğü düşürülmüş PAN ve MS görüntülerinin sonuçlarını değerlendirdikten sonra, orijinal PAN ile PAN görüntünün çözünürlüğüne yükseltgenmiş MS görüntülerinin füzyon sonuçları da incelenmiştir. Orijinal PAN görüntüsü ile, genişletilmiş MS görüntüsü, sırasıyla Şekil 6.3. a ve 6.3.b de verilmiştir. Füzyon sonuçları ise Şekil 6.3.c-q arasındadır.



Şekil 6.3 : a) PAN (2.5 m), b) MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.3 (devam) :a) PAN (2.5 m.), b) MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.3 (devam) : a) PAN (2.5 m.), b) MS (5 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) ABFA r) AWA.

En keskin sonuçların yer değiştirme metotları ile elde edildiği görülmektedir. Yer değiştirme metotlarındaki renk bozulmaları, dikkatli bir incelemeyle görülebilmektedir. GIHS sonuçları detaylı olarak incelendiğinde MS görüntüde var olmayan bazı detayların (örneğin sol alttaki beyaz kısmın üzerindeki siyah siyah detaylar), bulunduğu görülmektedir. GIHS sonuçlarında, bazı yapaylıkların olduğu göze çarpmaktadır. ECB sonuçlarında renk bozulmaları açıkça seçilirken CBD sonuçlarının nispeten daha iyi olduğu görülmektedir. Luminans yöntemlerinde keskinlik iyi korunmakla beraber renklerin bazı yerlerde (sağ alt taraf gibi) daha farklı olduğu gözlemlenmektedir. Görsel olarak en iyi yöntemin AWAW olduğu açıkça görülebilir. Pankeskinleştirme yöntemlerine ait QNR tablosu Çizelge 6.5 de verilmiştir. Tabloda kırmızı renkli olanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Çizelge 6.5 : Füzyon yöntemlerinin D_λ , D_S ve QNR değerleri.

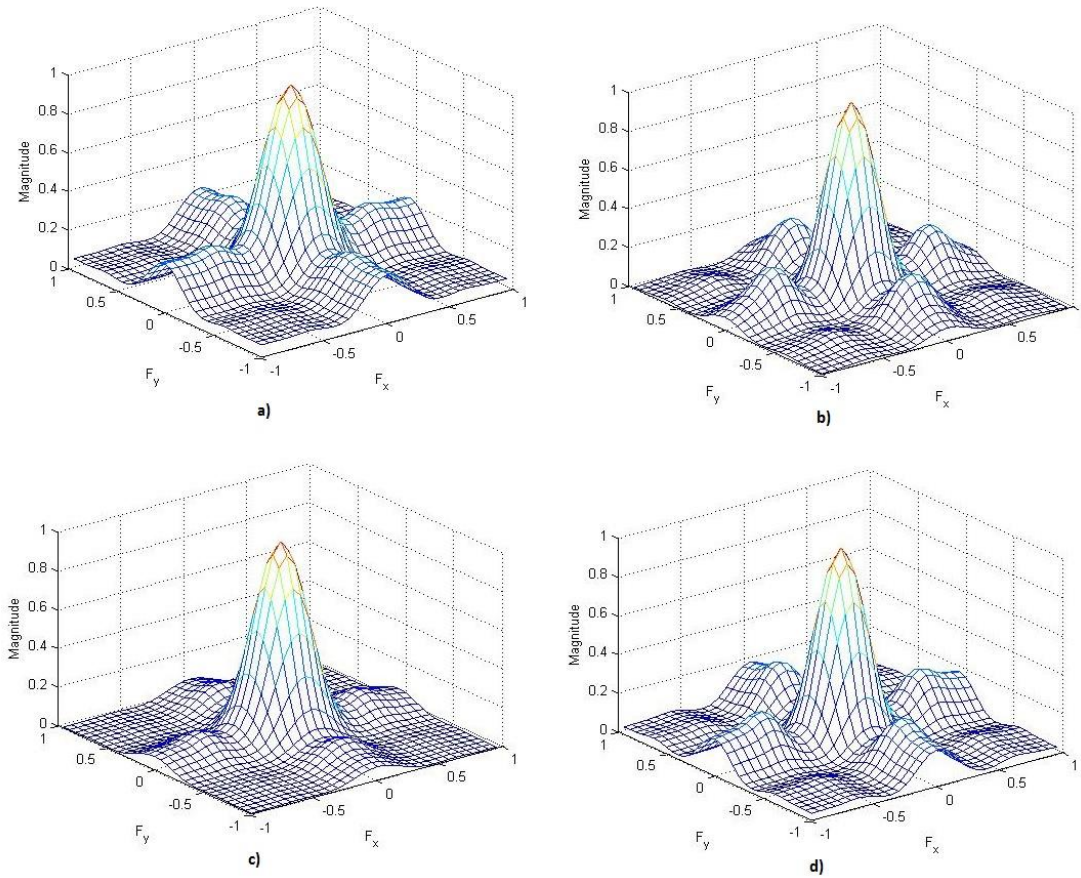
	D_λ	D_S	QNR
GIHS	0.0533	0.0515	0.8980
SW	0.2028	0.2789	0.5749
AW	0.1694	0.2594	0.6151
AWLP	0.1481	0.2205	0.6641
IAPW	0.0823	0.0954	0.8301
CBD	0.0944	0.1048	0.8107
ECB	0.1498	0.2866	0.6066
BFS	0.1564	0.2397	0.6414
BFA	0.1275	0.2046	0.6940
BFLP	0.1002	0.1548	0.7606
WSW	0.1941	0.2766	0.5830
WAW	0.1662	0.2517	0.6239
WAWLP	0.1451	0.2143	0.6717
ABFA	0.0830	0.0649	0.8575
AWAW	0.0723	0.0655	0.8669

Herhangi bir referans görüntü ihtiyacı olmayan QNR, hem radyometrik hem geometrik bozulmaları, hem de toplam bozulmayı gözönüne almaktadır. Buna göre en iyi sonuçlar, sırasıyla, GIHS, AWAW ve ABFA yöntemleriyle elde edilmiştir.

Çözünürlüğü düşürülmüş görüntülerin füzyon sonucu ile orijinal görüntülerin füzyon sonuçları ve nicel kriterler bir bütün olarak ele alındığında, önerilen yöntemlerin klasik yöntemlerden daha iyi olduğu sonucuna varılabilir. SPOT uydusu için, en iyi sonuçların GIHS ve AWAW yöntemleriyle elde edildiği görülmektedir.

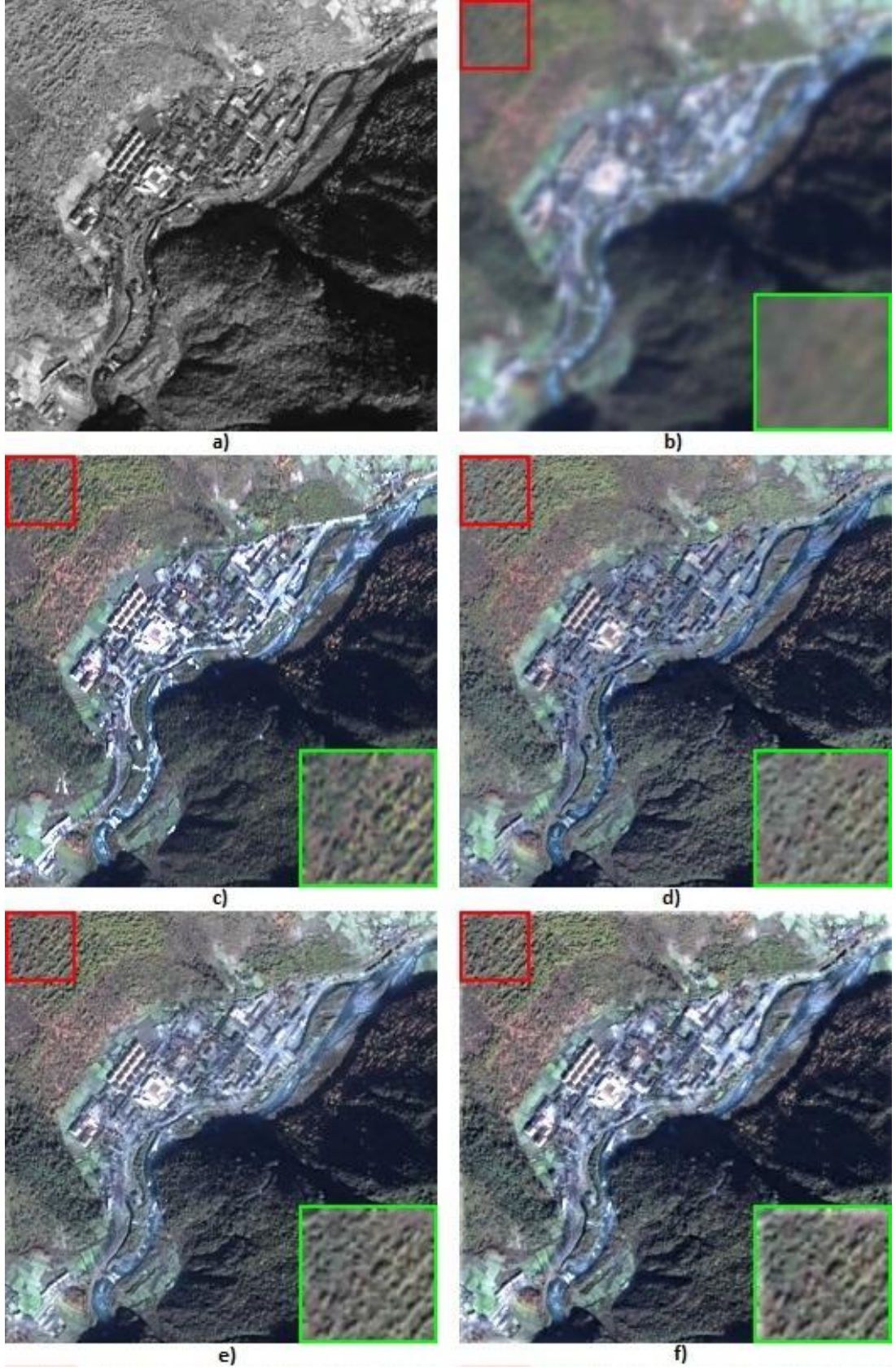
6.2 IKONOS için Sonuçlar

IKONOS görüntüler için çözünürlük düşürme için kullanılacak olan ve MTF den elde edilen süzgeçler Şekil 6.4 de görülmektedir.

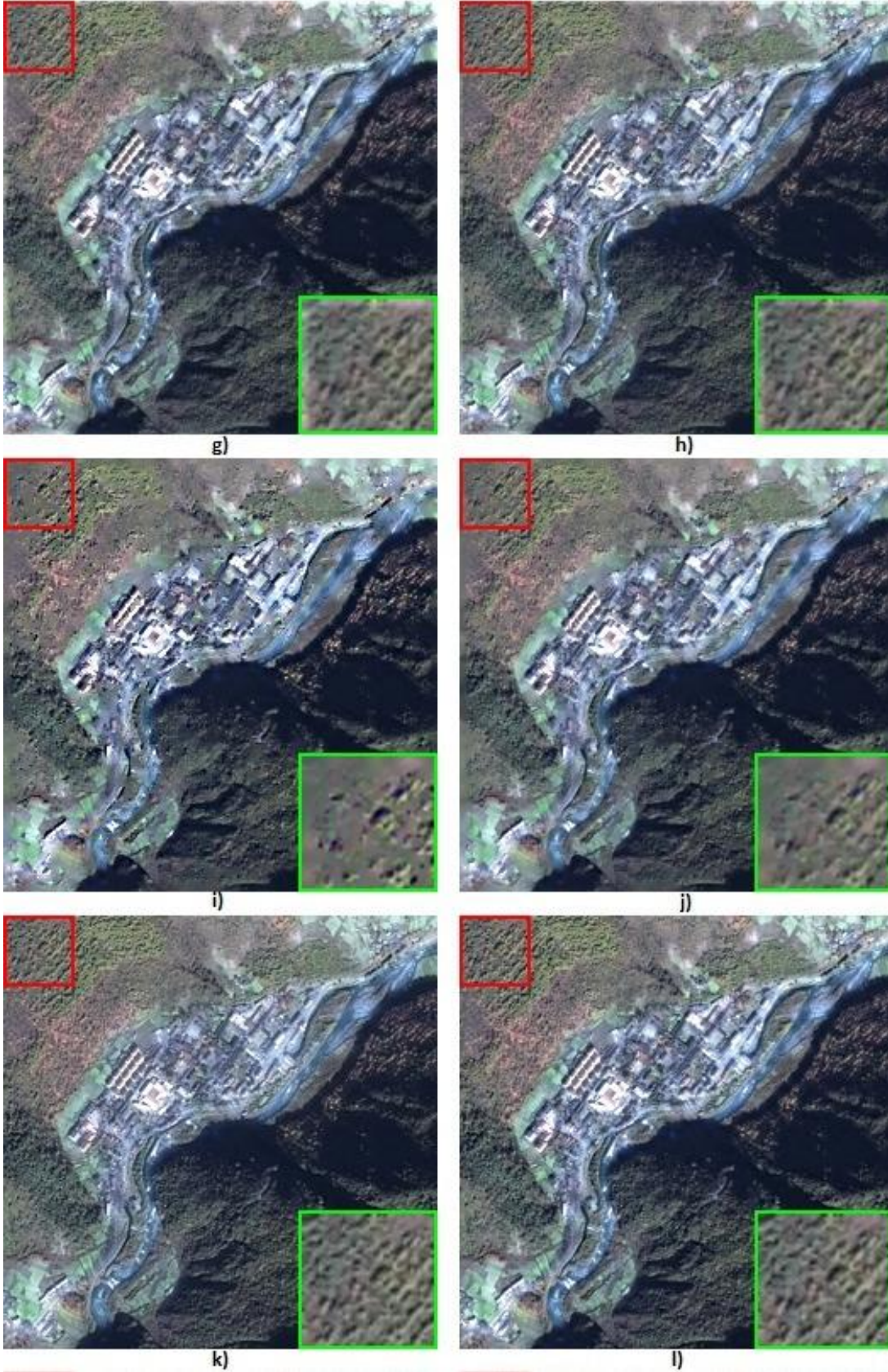


Şekil 6.4 : IKONOS görüntüsünün çözünürlüğünü indirmek için kullanılan süzgeçler a) Kırmızı b) Yeşil c) Mavi d) Yakın kızılötesi.

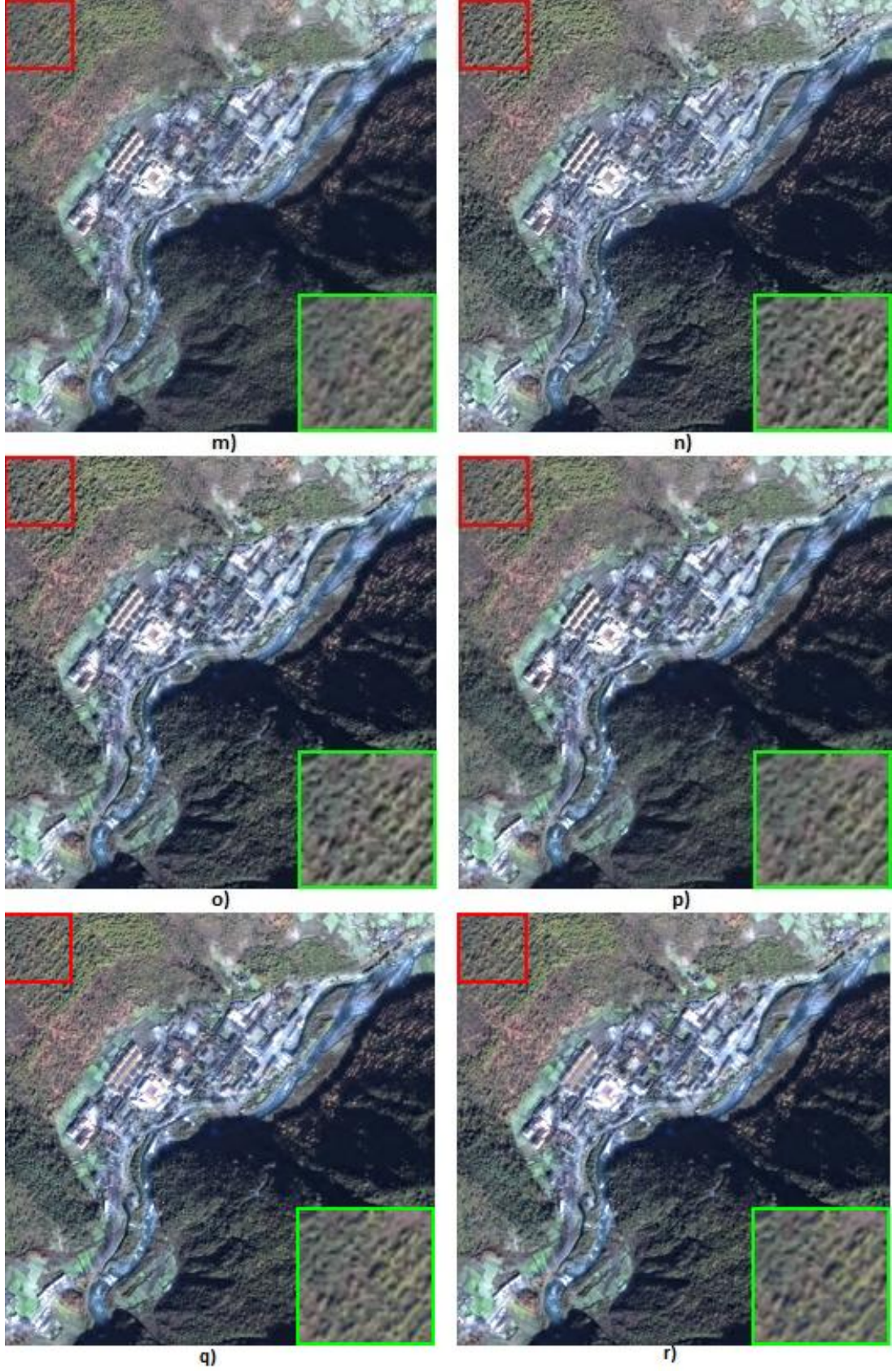
Çözünürlüğü düşürülmüş PAN ve MS görüntüleri ile orijinal MS görüntüsü sırasıyla Şekil 6.5.a, b ve c de görülmektedir. Füzyon sonuçları ise Şekil 6.5.d-o arasında verilmiştir.



Şekil 6.5 : a)PAN (5 m), b) MS (10 m),c) orjinal MS (5 m) ve Füzıyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l)BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.5 (devam) : a) PAN (4 m.), b) MS (16 m), c) orjinal MS (4 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWA.



Şekil 6.5 (devam) : a) PAN (4 m.), b) MS (16 m),c) orjinal MS (4 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.

Şekildeki yeşil kare içine alınmış alan, daha iyi anlaşılması için kırmızı ile işaretlenmiş alanın büyütülmüş versiyonudur. IKONOS-2 görüntüsünde, PAN görüntü ile MS görüntünün yoğunluk bileşeni arasında histogram farkının yüksek olması nedeniyle, GIHS sonuçları oldukça kötü durumdadır. Yer değiştirme metotlarının aşırı keskinleşmeye ve renk kaybına neden olduğu görülebilmektedir. Toplamsal yöntemlerden AW, WAW ve BFA yöntemleri (sabit parametrelili yöntemler), yer değiştirme metoduna nazaran daha iyi sonuçlar vermekle beraber, hala keskinlik ve renk problemi göze çarpmaktadır. Luminans yöntemlerinin (AWLP, IAWP, WAWLP ve BFLP) performanslarının genel olarak daha iyi olduğu görülmektedir. Bu yöntemler arasında AWLP yönteminde aşırı keskinleştirme olduğu görülmektedir. Diğer üç yöntemin, sınırlandırılmış detay kullanımları nedeniyle; daha az detay ilave ederek daha iyi görsel sonuçlar elde ettiği gözükmemektedir. ECB yöntemi, beklendiği gibi, CBD yönteminden daha iyi görünmektedir. Fakat her iki yöntemin daha iyi olduğu alan geniş detayların olduğu alanlar olduğundan, küçük detayları kayb ettikleri görünmektedir. ABFA ve AWAW yöntemlerinde ise bu küçük detaylarda korunmuştur. Dolayısıyla, önerilen lokal metotlar (AWAW ve ABFA), klasik lokal yöntemlerin (CBD ve ECB) sorunlarını giderdiği görülmektedir.

Görsel analiz sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için, daha önce ifade edilmiş olan nicel kriterler, sırasıyla tablolar aracılığıyla verilmiştir. Tablolarda kırmızı renkli olanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Şekil 6.5 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait RMSE değerleri Çizelge 6.6 de verilmiştir.

Çizelge 6.6 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.

	RMSE				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	31.4675	27.9786	26.7352	20.5920	26.6933
SW	27.1423	23.5713	24.1240	20.1027	23.7351
AW	28.1397	24.6873	24.5319	19.3797	24.1846
AWLP	25.4811	23.0286	23.4894	21.2904	23.3224
IAWP	24.4731	21.7777	22.0249	20.0426	22.0796
CBD	29.1313	26.2142	24.0823	19.2914	24.6798
ECB	25.3052	22.4997	21.5086	18.7240	22.0094
BFS	26.4441	22.9679	22.9787	19.6962	23.0217
BFA	25.8783	22.5019	22.4414	18.7296	22.3878
BFLP	24.0630	21.1676	20.9300	19.3266	21.3718
WSW	26.9353	23.3899	23.7744	19.4834	23.3958
WAW	25.9508	22.5611	22.5080	18.6771	22.4242
WAWLP	24.2827	21.6699	22.3116	19.7355	21.9999
ABFA	25.8435	22.5674	21.9982	18.6253	22.2586
AWAW	25.8214	22.6074	21.7299	18.5778	22.1841

RMSE değerleri, füzyon sonucunda, spektral bilginin ne kadar korunduğunu ifade eder. IKONOS-2 uydusunun MS görüntüsü ile PAN görüntüsü arasında histogram farkı fazla olduğu için, GIHS sonucunun keskinlik sağlasa bile, renklerde ciddi bozulmalar olduğu gözlemlenmektedir. Görüntüde küçük detayların yoğun olduğu görülmektedir. Bu tip görüntülerde luminans metotlarının daha iyi olması beklenmektedir ve tablo sonuçlarından da BFLP, WAWLP ve IAWP sonuçlarının en iyi olduğu görülmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi sınırlı detay ilavesinin, AWLP deki direk ilavesinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Lokal yöntemler arasında en iyi sonuçları, birbirine oldukça yakın metriklerle; ECB ve AWAW ile alındığı gözlemlenmiştir.

Şekil 6.5 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait CC değerleri Çizelge 6.7 de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : Füzyon yöntemlerinin CC değerleri.

	CC				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.8660	0.8817	0.8589	0.9285	0.8838
SW	0.9032	0.9179	0.8890	0.9328	0.9107
AW	0.9024	0.9158	0.8921	0.9373	0.9119
AWLP	0.9165	0.9246	0.9002	0.9278	0.9173
IAWP	0.9214	0.9303	0.9089	0.9331	0.9234
ATWT-CBD	0.8945	0.9045	0.8929	0.9388	0.9077
ECB	0.9166	0.9262	0.9124	0.9412	0.9241
BFS	0.9076	0.9217	0.8984	0.9354	0.9158
BFA	0.9134	0.9265	0.9057	0.9412	0.9217
BFLP	0.9238	0.9338	0.9166	0.9374	0.9279
WSW	0.9043	0.9189	0.8911	0.9381	0.9131
WAW	0.9131	0.9262	0.9053	0.9415	0.9215
WAWLP	0.9229	0.9316	0.9080	0.9357	0.9245
ABFA	0.9137	0.9260	0.9085	0.9419	0.9225
AWAW	0.9140	0.9259	0.9106	0.9422	0.9231

Korelasyon değerleri, MS bantlarındaki rengin ne kadar koruduğunu ifade ettiğine göre, renkleri en çok bozan GIHS yönteminin sonuçları beklendiği gibi oldukça kötü görünmektedir. Toplamsal yöntemlerin sonuçları iyi olmakla beraber, yine WAWLP, BFLP ve IAWP yöntemlerinin diğer yöntemlerden daha iyi olduğu görülmektedir.

Şekil 6.5 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait RM değerleri Çizelge 6.8 de verilmiştir.

Çizelge 6.8 : Füzyon yöntemlerinin RM değerleri.

	RM				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.0075	0.0079	0.0047	0.1086	0.0322
SW	0.2406	0.1130	0.0039	0.7576	0.2788
AW	1.7446	1.5994	1.4354	0.8383	1.4044
AWLP	1.4103	1.2956	0.7461	1.6545	1.2766
IAWP	0.4852	0.4376	0.2039	0.4963	0.4057
CBD	0.1659	0.1750	0.1227	0.1575	0.1553
ECB	0.1739	0.1780	0.1697	0.0628	0.1461
BFS	0.0473	0.0451	0.0280	0.0845	0.0512
BFA	0.0515	0.0483	0.0318	0.0846	0.0541
BFLP	0.2108	0.1551	0.1173	0.2446	0.1233
WSW	0.0273	0.0336	0.1369	0.8579	0.2639
WAW	0.1300	0.1202	0.0969	0.0418	0.0972
WAWLP	0.0945	0.0018	0.4655	0.2275	0.1973
ABFA	0.0408	0.0607	0.0772	0.1391	0.0795
AWAW	0.0061	0.0282	0.0436	0.1391	0.0543

Ortalama piksel değerinin ne kadar kaydıgının bir ifadesi olan RM değerlerinde en iyi sonuca GIHS yöntemi ile ulaşıldığı görülürken, bu yöntemi önerilen bilateral tabanlı yöntemler ile WATWT tabanlı yöntemler takip etmektedir. Önerilen yöntemlerin, ATWT tabanlı yöntemlerdeki spektral kayma sorunun sahip olmadığı bir kez daha görülmüştür.

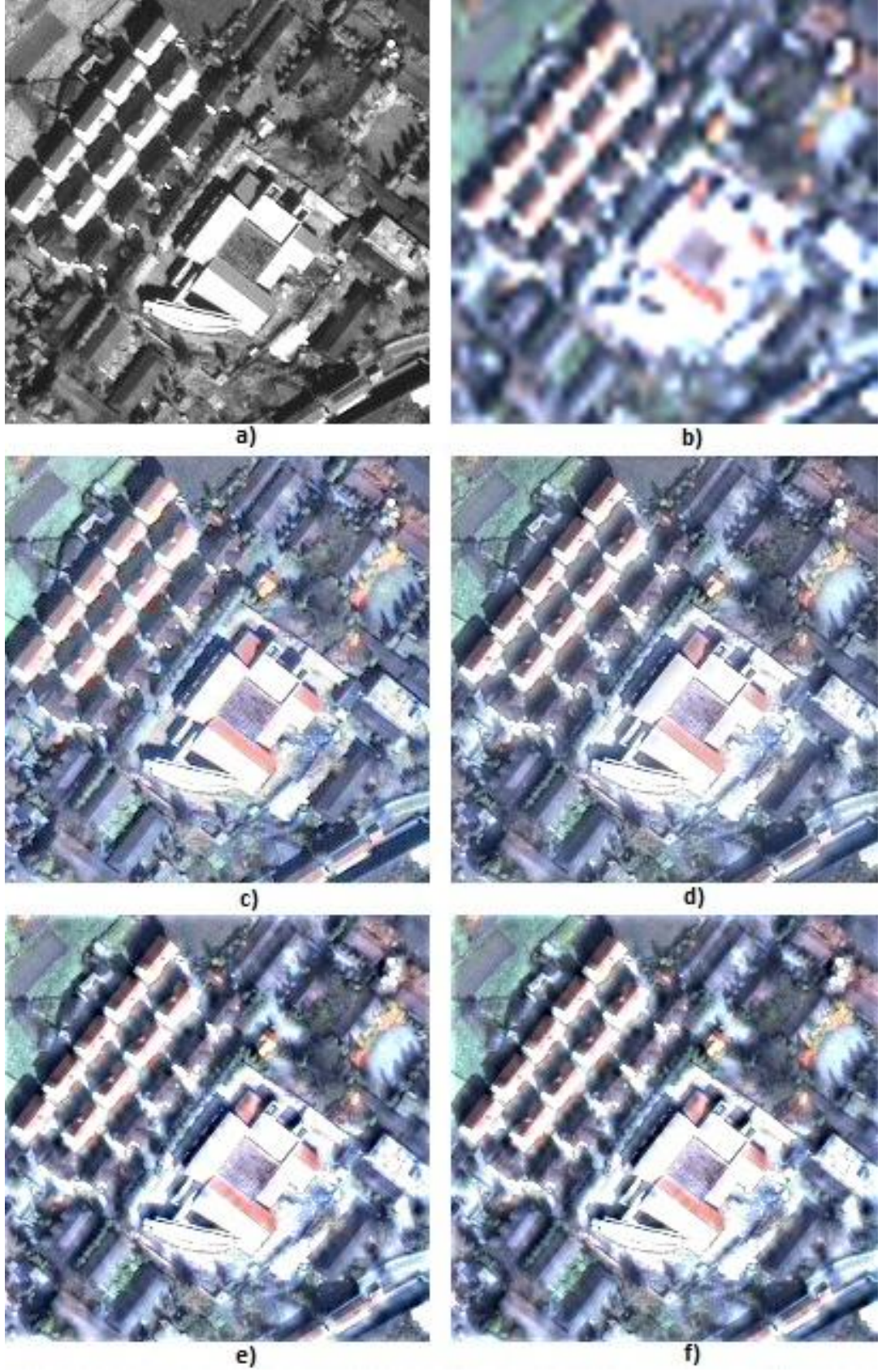
Şekil 6.5 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait SAM, ERGAS ve Q4 değerleri Çizelge 6.9 da verilmiştir.

Çizelge 6.9 : Füzyon yöntemlerinin SAM, ERGAS, Q4değerleri.

	SAM	ERGAS	SERGAS	Q4
GIHS	6.3724	6.7451	5.3887	0.7042
SW	7.0660	5.9666	6.2353	0.7430
AW	6.4640	6.0965	6.6458	0.7719
AWLP	5.4410	5.8425	6.7651	0.7878
IAWP	5.4410	5.5340	6.8827	0.7866
CBD	6.3103	6.2349	7.4581	0.7597
ECB	6.1046	5.5337	7.0112	0.7796
BFS	6.6479	5.7863	6.5368	0.7482
BFA	6.3153	5.6325	6.6417	0.7745
BFLP	5.4410	5.3600	6.8905	0.7885
WSW	6.9908	5.8862	6.2769	0.7440
WAW	6.3627	5.6429	6.6608	0.7748
WAWLP	5.4410	5.5149	6.6856	0.7894
ABFA	6.1856	5.6013	6.7327	0.7760
AWAW	6.1910	5.5834	6.7822	0.7786

ERGAS değeri için en iyi sonuçları sırasıyla WAWLP, BFLP ve ECB yöntemleri almıştır. SERGAS değerleri füzyon görüntüsünün histogramı uyarlanmış PAN görüntüsüyle arasındaki hatanın ifadesi olduğu için, daha fazla detay ilave eden yöntemler olan GIHS ve yer değiştirme metotları (SW, WSW ve BFS), beklendiği üzere daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. SAM değeri, MS ile füzyon sonucu arasındaki açısal benzerliğin bir ifadesi olduğu için, luminans metotlarının sonucunun birbirinin aynı çıkması gerekir. Bu kriterde de en iyi sonucu bu yöntemler alırken, bu yöntemleri ECB ile AWAW yöntemi takip etmiştir. Q4 değeri yine MS ile füzyon görüntüsü arasındaki global benzerliğin bir ifadesidir. Bu kriterde de en iyi sonuç WAWLP yöntemi ile elde edilmiştir.

IKONOS-2 uydusuna ait orijinal PAN ve genişletilmiş MS görüntüleri, sırasıyla Şekil 6.6. a ve 6.6.b de verilmiştir. Bu görüntülere pankeskinleştirme metotları uygulanarak elde edilen füzyon sonuçları ise Şekil 6.6.c-q arasındadır.



Şekil 6.6 : a) PAN (1m), b) MS (4m), c) orijinal MS (2.8m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.



g)



h)



i)



j)

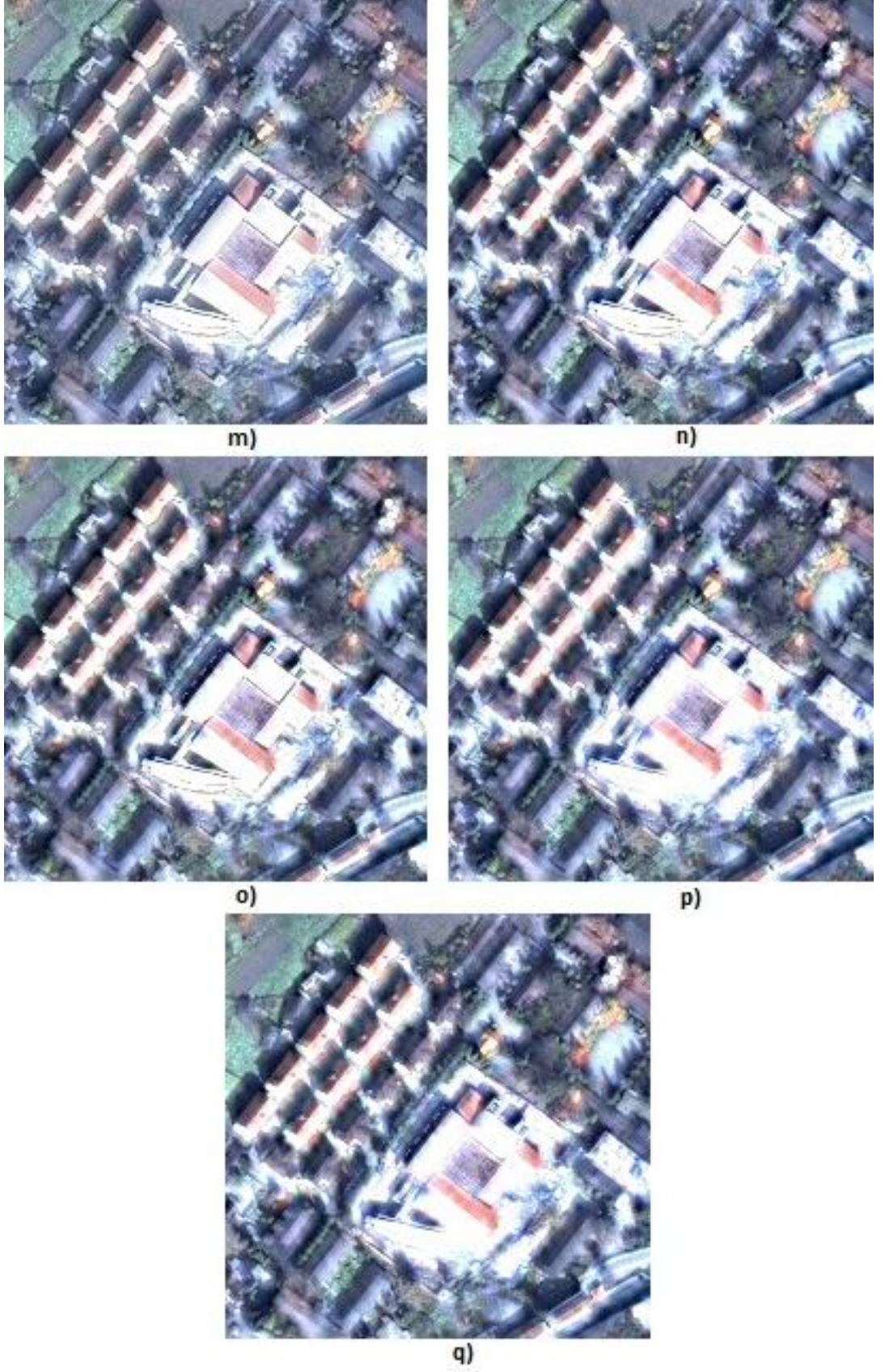


k)



l)

Şekil 6.6 (devam) : a) PAN (1 m.), b) MS (4 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) AWAW.



Şekil 6.6 (devam) : a) PAN (1 m.), b) MS (4 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) AWAW.

En keskin sonuçların GIHS ve yer değiştirme metotları ile elde edildiği görülmektedir. GIHS metodundaki renk bozulması açıkça görülebilen, yer değiştirme metotlarındaki bozulmalar, dikkatli bir incelemeyle görülebilmektedir. CBD yöntemi, beklendiği gibi küçük detaylı görüntülerde bulanık sonuçlar elde ederken, geliştirilmiş CBD olan ECB sonuçlarının nispeten daha iyi olduğu görülürken, yer yer bulanıklık ve aşırı keskinleştirme oluşmuştur. Luminans yöntemlerinin, beklendiği gibi daha iyi görsel sonuçları oluşmuştur. AWAW yöntemi, CBD ve ECB gibi lokal olmasına karşın, luminans metotlarına yakın sonuçlar vermiştir. Pankeskinleştirme yöntemlerine ait QNR tablosu Çizelge 6.10 da verilmiştir. Tabloda kırmızı renkli olanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Çizelge 6.10 : Füzyon yöntemlerinin D_λ , D_S ve QNR değerleri.

	D_λ	D_S	QNR
GIHS	0.2849	0.0313	0.6928
SW	0.2265	0.0890	0.7046
AW	0.1641	0.0671	0.7798
AWLP	0.1066	0.0387	0.8588
IAPW	0.0904	0.0192	0.8921
CBD	0.1399	0.0520	0.8154
ECB	0.1414	0.0498	0.8159
BFS	0.1699	0.0670	0.7744
BFA	0.1170	0.0468	0.8416
BFLP	0.0908	0.0193	0.8917
WSW	0.1989	0.0761	0.7402
WAW	0.1572	0.0641	0.7888
WAWLP	0.0836	0.0170	0.9009
ABFA	0.1312	0.0458	0.8290
AWAW	0.1285	0.0427	0.8343

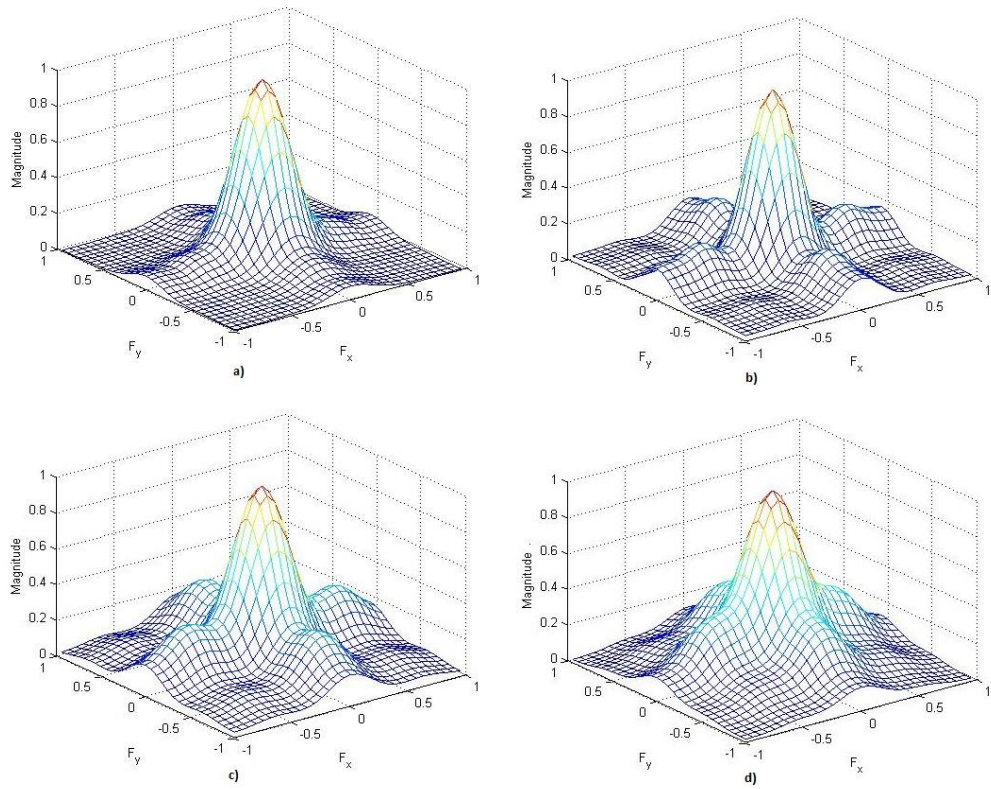
Çizelgeye göre geometrik bozulmanın en az olduğu yöntemler sırasıyla WAWLP, IAPW ve BFLP iken, radyometrik bozulmanın en az olduğu yöntemler sırasıyla, IAPW, WAWLP ve BFLP yöntemleridir. Her iki bozulmayı gözönüne alan QNR değerine göre en iyi sonuçlar, sırasıyla, WAWLP, IAPW ve BFLP yöntemleriyle

elde edilmiştir. Bu da detay ilavesinin belli ölçüde kısıtlanmasının görüntünün hem geometrik hem radyometrik olarak daha iyi korunduğunu gösterir.

En keskin görüntülerin GIHS ile beraber yer değiştirme metotları ile elde edildiği görülmektedir. GIHS yöntemindeki renk bozulması açıkça görülebilmektedir. Yer değiştirme metotlarındaki bozulmalarda daha dikkatli bir incelemeyle görülebilmektedir. Bu görüntüler için, luminans metotlarının daha iyi olması beklenmektedir ve sonuçların da bu doğrultuda olduğu aşikardır. Yöntemler kendi aralarında değerlendirildiğinde, önerilen yöntemlerin, klasik yöntemlerden daha iyi olduğu açıkça görülmektedir.

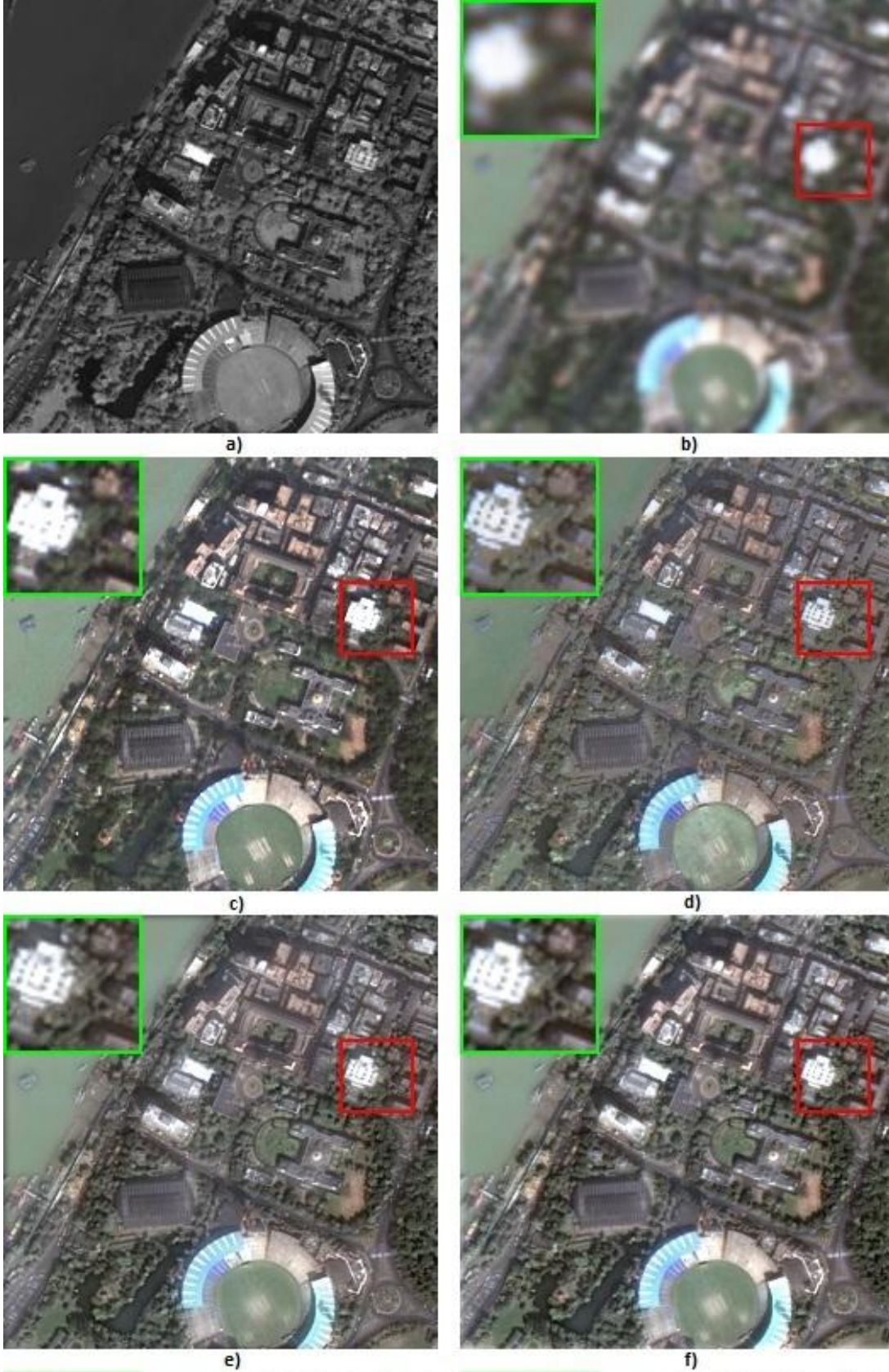
6.3 Quickbird için Sonuçlar

Quickbird görüntülerde MTF den elde edilen süzgeçler Şekil 6.7 de görülmektedir.

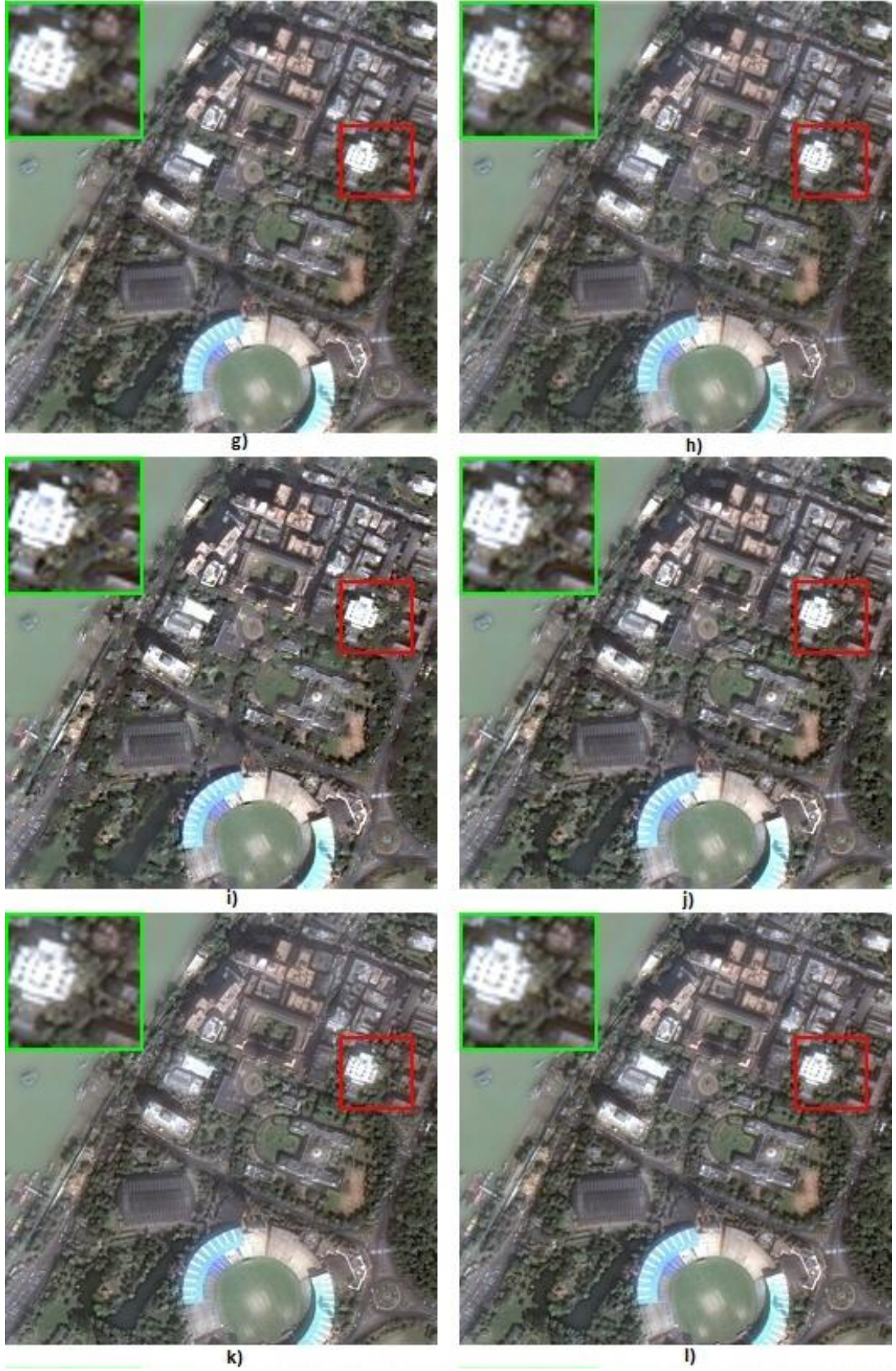


Şekil 6.7 : Quickbird görüntüsü için çözünürlük indirmek için kullanılan süzgeçler **a)** Kırmızı **b)** Yeşil **c)** Mavi **d)** Yakın kızıl ötesi.

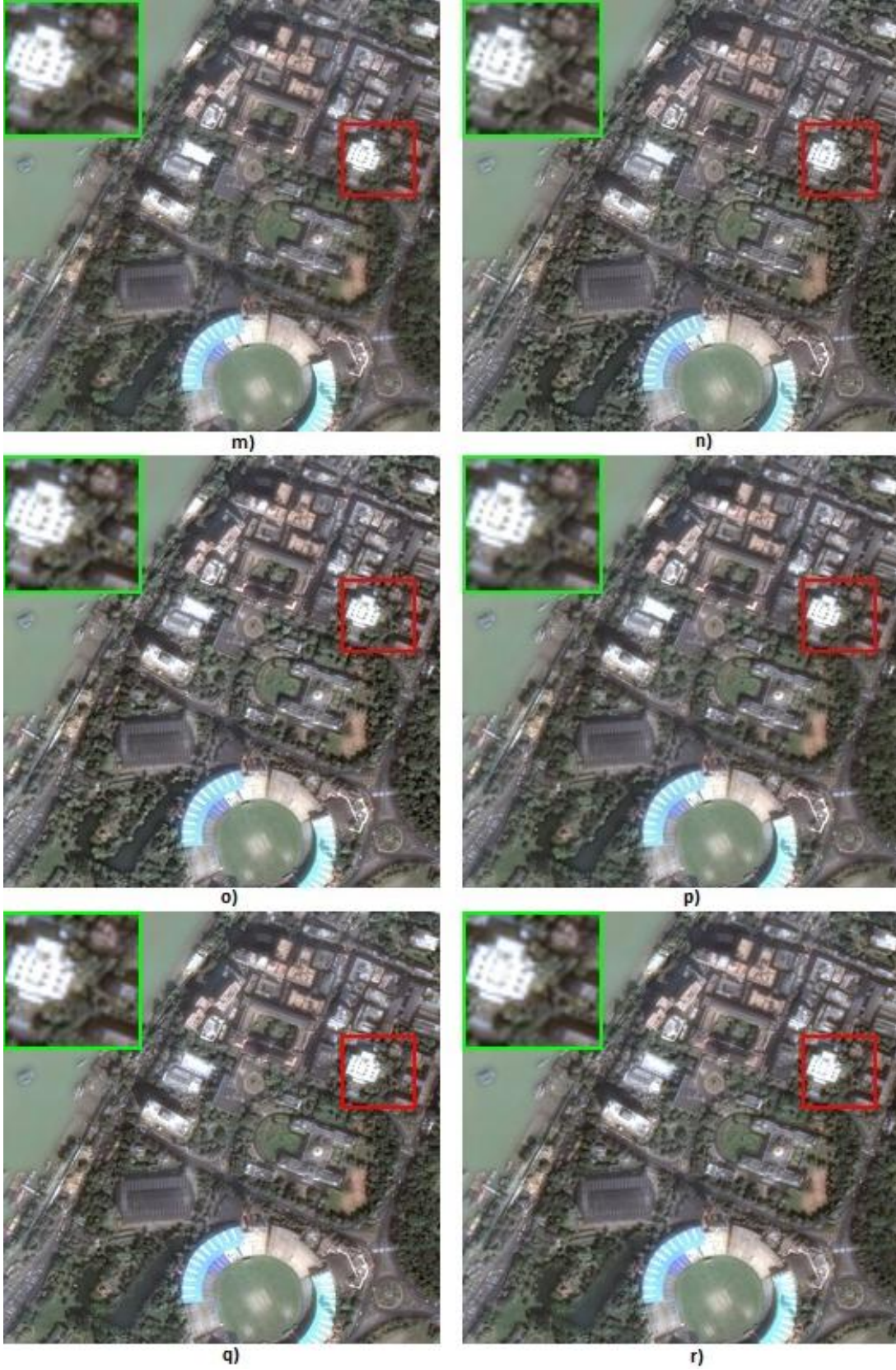
Çözünürlüğü düşürülmüş PAN ve MS görüntüleri ile orjinal MS görüntüsü sırasıyla Şekil 6.8.a, b ve c de görülmektedir. Füzyon sonuçları ise Şekil 6.8.d-r arasında verilmiştir.



Şekil 6.8 : a) PAN (2.8m), b) MS (11.2m), c) orijinal MS (2.8m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWA.



Şekil 6.8 (devam) : a) PAN (2.8 m.), b) MS (11.2 m), c) orjinal MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.8 (devam) : a) PAN (2.8 m.), b) MS (11.2 m),c) orijinal MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWA.

Şekildeki yeşil kare içine alınmış alan, daha iyi anlaşılması için kırmızı ile işaretlenmiş alanın büyütülmüş versiyonudur. Quickbird görüntülerinde de GIHS sonuçları beklendiği gibi oldukça kötü çıkmaktadır. Yer değiştirme metotlarının aşırı keskinleşmeye ve renk kaybına neden olduğu bu görüntüde görülebilmektedir. Toplamsal yöntemlerden AW, WAW ve BFA yöntemleri (sabit parametrelili yöntemler), yer değiştirme metoduna nazaran daha iyi sonuçlar vermekle beraber, hala keskinlik ve renk problemi göze çarpmaktadır. Luminans yöntemlerinin (AWLP, IAWP, WAWLP ve BFLP) performanslarının iyi olduğu görülmekle beraber, dikkatli bakıldığında renk kayıpları görülmektedir. CBD yönteminde aşırı keskinlik ve alınmayan detaylardan kaynaklı bulanıklıklar göze çarparken, ECB yönteminde bu sorunların nispeten aşıldığı görülmektedir. Ancak, hem fazla hem az alınan detaylardan kaynaklı bulanık ve aşırı keskinlik az da olsa mevcuttur. ABFA ve AWAW yöntemlerinin, diğer yöntemlere kıyasla renkleri daha iyi koruduğu ve detayların hangi bölgede hangi oranda ilave edileceği konusunda daha iyi performans gösterdiği belli olmaktadır.

Daha iyi anlaşılması için, AW, ECB, ABFA ve AWAW yöntemlerinde, MS görüntüsünün bir bandına ilave edilen detay miktarlarının, ne miktarda olduğu Şekil 6.9' da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : Füzyon yöntemlerinin MS görüntünün ilk bandına ilave ettikleri detay miktarları **a) AW b) ECB c) ABFA d) AWAW.**

AW yöntemi, bu metotlar içerisinde en aşırı detay ilavesini yapmaktadır. Stadyumun solundaki yeşil alanın olduğu bölgede, orijinal MS de çok az detay bulunmaktadır. Aynı bölgede, en az detay ilave eden yöntemler AWAW ve BFA olmaktadır. Yine stadyumun sağında bulunan kavşağın alınması gereken detaylarının ECB tarafından alınmadığı görülebilmektedir.

Görsel sonuçlara bakıldığında, bu görüntüler için en iyi sonuçların AWAW ve ABFA tarafından elde edildiğini söylemek mümkündür. Ancak, görsel analiz sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için, daha önce ifade edilmiş olan nicel kriterler, sırasıyla tablolar yardımıyla verilmiştir. Tablolarda kırmızı renkli olanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Şekil 6.8 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait RMSE değerleri Çizelge 6.11 de verilmiştir.

Çizelge 6.11 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.

	RMSE				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	20.7497	17.5692	21.3416	16.2805	18.9852
SW	20.8483	16.5839	21.8909	16.8982	19.0553
AW	21.6408	17.8895	22.8186	14.3645	19.1784
AWLP	17.0143	15.0770	17.7925	16.8479	16.6829
IAWP	15.4578	13.3159	16.1781	15.6703	15.1555
CBD	17.2206	14.6822	16.8096	13.0285	15.4352
ECB	16.7168	13.5403	17.9366	13.8308	15.5061
BFS	18.9647	15.0213	19.8750	15.8348	17.4239
BFA	18.8338	15.1373	19.9070	14.0989	16.9942
BFLP	15.2526	13.0582	15.9911	15.0849	14.8467
WSW	20.3079	16.0954	21.2844	15.6649	18.3381
WAW	19.3300	15.5908	20.4410	14.0171	17.3447
WAWLP	15.8028	13.6609	16.5950	15.3138	15.3432
ABFA	15.4348	12.7611	14.6343	13.7540	14.1461
AWAW	15.0250	12.5120	14.1990	13.6324	13.8421

RMSE değerleri, füzyon sonucunda, spektral bilginin ne kadar korunduğunu ifade eder. Quickbird uydusunun spektral özellikleri, IKONOS-2' ye benzemektedir. Dolayısıyla, GIHS metodunun sonuçlarının kötü olması beklenmektedir. Görüntüde küçük detayların fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, luminans metotlarının daha iyi sonuçlar vermesi beklenmektedir. BFLP ve WAWLP en iyi sonuçları verirken, bunları AWAW yöntemi takip etmektedir. Bu da AWAW yönteminin lokal olsa bile, küçük detaylı görüntülerde, ECB ve CBD yöntemlerinden daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 6.8 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait CC değerleri Çizelge 6.12 de verilmiştir.

Çizelge 6.12 : Füzyon yöntemlerinin CC değerleri.

	CC				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.6769	0.7077	0.6022	0.9433	0.7325
SW	0.7491	0.7983	0.6970	0.9403	0.7962
AW	0.7708	0.8098	0.7213	0.9551	0.8143
AWLP	0.8309	0.8421	0.7904	0.9410	0.8511
IAWP	0.8485	0.8592	0.8101	0.9466	0.8661
CBD	0.8215	0.8391	0.8007	0.9632	0.8561
ECB	0.8337	0.8622	0.7896	0.9586	0.8610
BFS	0.7815	0.8239	0.7340	0.9474	0.8217
BFA	0.8039	0.8422	0.7572	0.9571	0.8401
BFLP	0.8539	0.8676	0.8161	0.9507	0.8721
WSW	0.7574	0.8059	0.7078	0.9510	0.8055
WAW	0.7981	0.8377	0.7506	0.9576	0.8360
WAWLP	0.8472	0.8613	0.8077	0.9495	0.8664
ABFA	0.8492	0.8721	0.8368	0.9592	0.8793
AWAW	0.8546	0.8746	0.8435	0.9599	0.8831

Korelasyon değerleri, MS bantlarındaki rengin ne kadar koruduğunu ifade ettiğine göre, renkleri en çok bozan GIHS yönteminin sonuçları beklendiği gibi oldukça kötü görünmektedir. CC sonuçları, genellikle RMSE sonuçlarına paralel çıkmaktadır. Bu yüzden, burada da beklendiği gibi en iyi yöntemler, sırasıyla; BFLP, WAWLP ve AWAW yöntemleridir.

Şekil 6.8 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait RM değerleri Çizelge 6.13 de verilmiştir.

Çizelge 6.13 : Füzyon yöntemlerinin RM değerleri.

	RM				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.1001	0.0944	0.1039	0.3852	0.1709
SW	0.0514	0.0787	0.0954	1.3881	0.3300
AW	1.6522	1.5118	1.7036	0.3313	1.2997
AWLP	0.8041	0.8818	0.7175	1.4829	0.9716
IAWP	0.2554	0.2935	0.2180	0.2246	0.2479
CBD	0.3591	0.3500	0.2407	0.0843	0.2585
ECB	0.6198	0.5912	0.7107	0.1151	0.5092
BFS	0.0198	0.0216	0.0211	0.4131	0.1189
BFA	0.0246	0.0254	0.0260	0.4201	0.1240
BFLP	0.2881	0.2219	0.3550	0.0199	0.2212
WSW	0.0297	0.0312	0.0320	1.2936	0.3466
WAW	0.0613	0.0590	0.0639	0.4031	0.1468
WAWLP	0.3390	0.2610	0.4181	0.1129	0.2828
ABFA	0.1689	0.1596	0.1151	0.4544	0.2245
AWAW	0.1307	0.1314	0.0685	0.4540	0.1962

Ortalama piksel değerinin ne kadar kaydığının bir ifadesi olan RM değerlerinde en iyi sonucun WAW, WSW ve BFLP yöntemiyle elde edildiği görülürken, bu yöntemleri AWAW ve WAWLP yöntemleri takip etmektedir. Daha önceki sonuçlarda da ifade edildiği gibi ATWT tabanlı yöntemlerin spektral bias sorunu bu görüntüler için de görülebilmektedir. Önerilen yöntemlerin tamamı, ATWT tabanlı metotlara oranla, spektral biası daha iyi koruduğu açıkça görülmektedir.

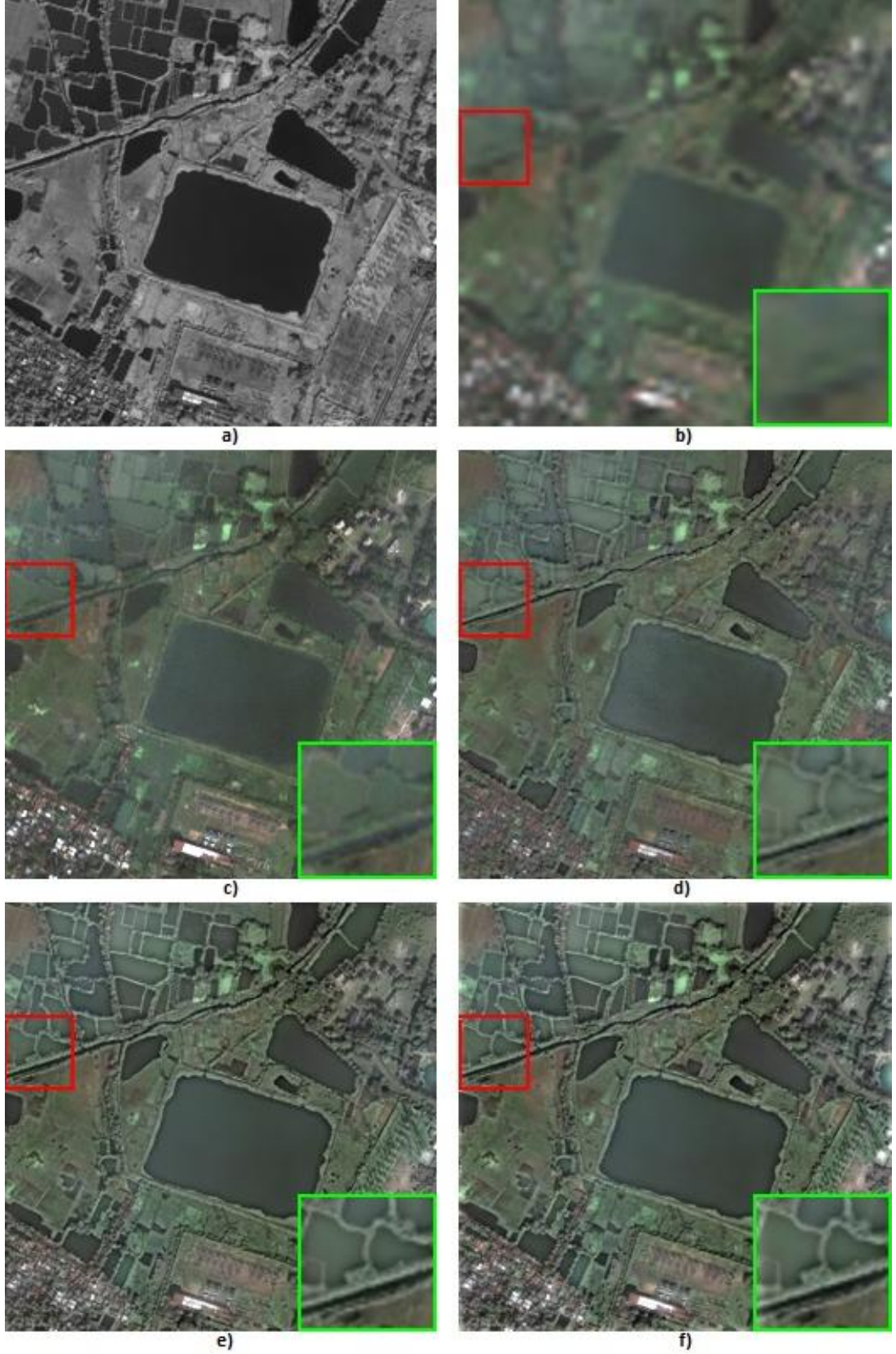
Şekil 6.8 de görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait SAM, ERGAS ve Q4 değerleri Çizelge 6.14 de verilmiştir.

Çizelge 6.14 : Füzyon yöntemlerinin SAM, ERGAS, Q4 değerleri.

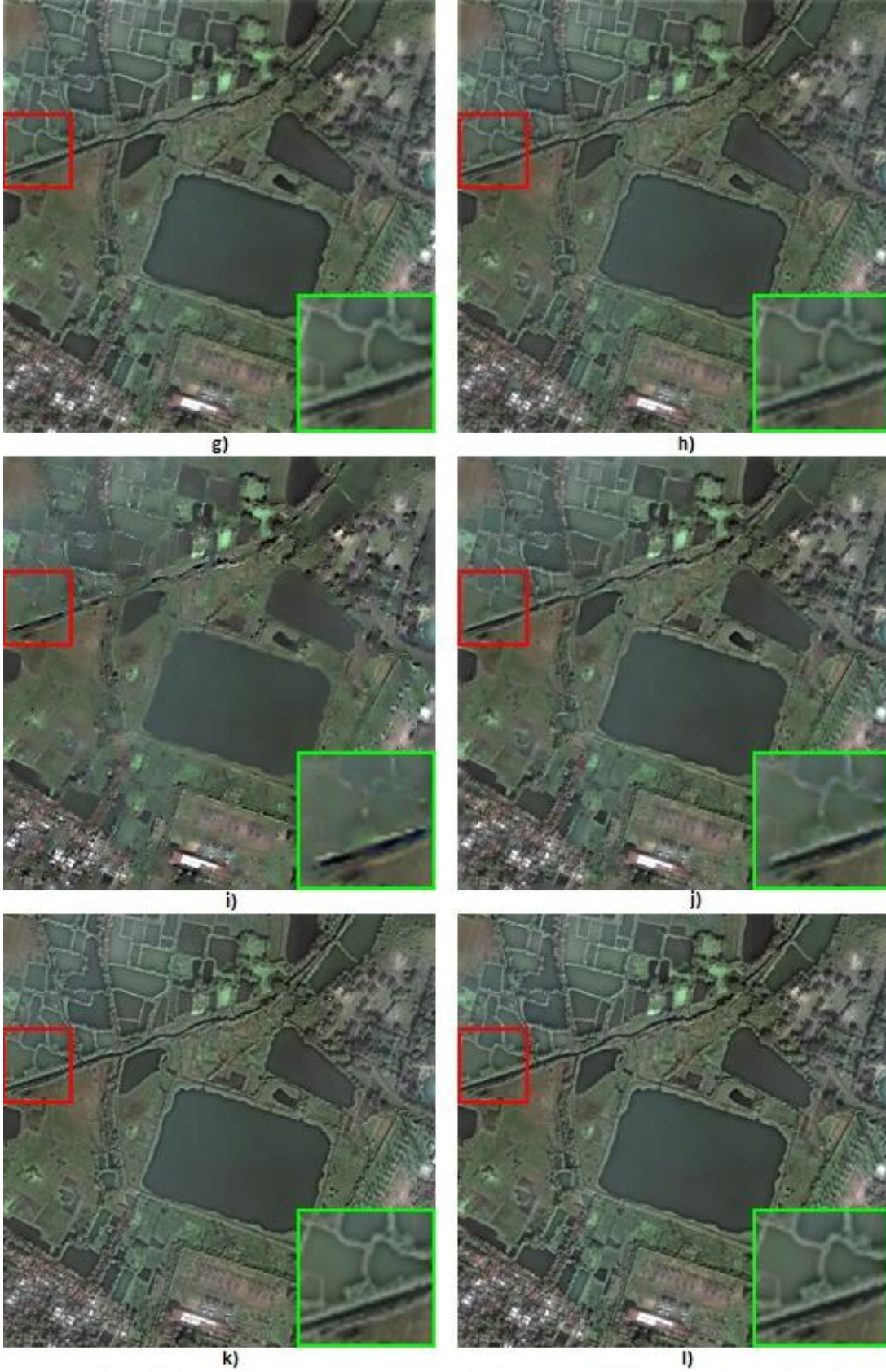
	SAM	ERGAS	SERGAS	Q4
GIHS	5.7168	4.7758	4.3611	0.6058
SW	7.1520	4.7998	5.3248	0.6415
AW	6.1367	4.8660	5.7398	0.6765
AWLP	4.8028	4.1781	5.5689	0.7242
IAWP	4.8028	3.7987	5.5557	0.7417
CBD	4.8176	3.8819	5.8287	0.7448
ECB	5.3970	3.9047	5.6261	0.7419
BFS	6.4434	4.3858	5.4001	0.6724
BFA	5.9118	4.2919	5.4917	0.6955
BFLP	4.8028	3.7216	5.3815	0.7418
WSW	6.9180	4.6265	5.3297	0.6517
WAW	5.9757	4.3858	5.5098	0.6898
WAWLP	4.8028	3.8452	5.3780	0.7311
ABFA	4.9100	3.5453	5.6294	0.7685
AWAW	4.7764	3.4681	5.6817	0.7763

ERGAS değeri MS görüntünün 4 bandı ile füzyon görüntüsünün 4 bandı arasındaki global hatayı temsil ettiği için beklendiği gibi en iyi sonuçları sırasıyla WAWLP, BFLP ve AWAW yöntemleri almıştır. SERGAS değerleri füzyon görüntüsünün histogramı uyarlanmış PAN görüntüsüyle arasındaki hatanın ifadesi olduğu için, daha fazla detay ilave eden yöntemler olan GIHS ve yer değiştirme metotları (SW, WSW ve BFS) daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. SAM değeri, MS ile füzyon sonucu arasındaki açısız benzerliğin bir ifadesi olduğu için, luminans metotlarının sonucunun birbirinin aynı çıkması gerekir. Bu kriterde de en iyi sonucu luminans metotları alırken, bu yöntemleri, AWAW takip etmiştir. Q4 değeri yine MS ile füzyon görüntüsü arasındaki global benzerliğin bir ifadesidir. Bu kriterde de en iyi sonuç WAWLP yöntemi ile elde edilmiştir.

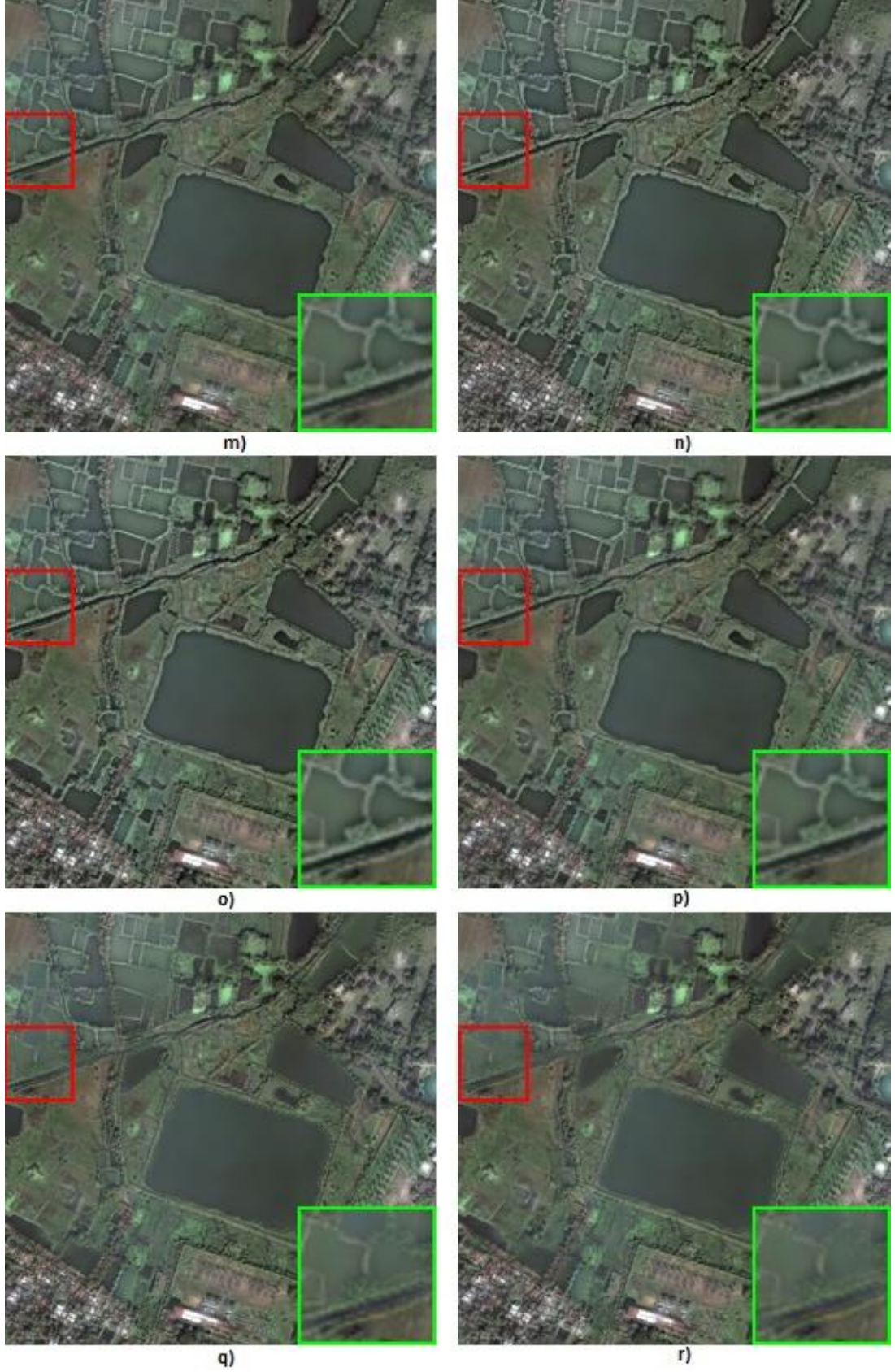
Metotlar arası farkların daha iyi anlaşılması için yine Quickbird uydusundan alınan yerleşim alanı dışındaki bir görüntünün pankeskinleştirme sonuçları incelenmiştir. Çözünürlüğü düşürülmüş PAN ve MS görüntüleri ile orijinal MS görüntüsü sırasıyla Şekil 6.10.a, b ve c de görülmektedir. Füzyon sonuçları ise Şekil 6.10.d-r arasında verilmiştir.



Şekil 6.10 : a) PAN (2.8m), b) MS (11.2m), c) orijinal MS (2.8m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.



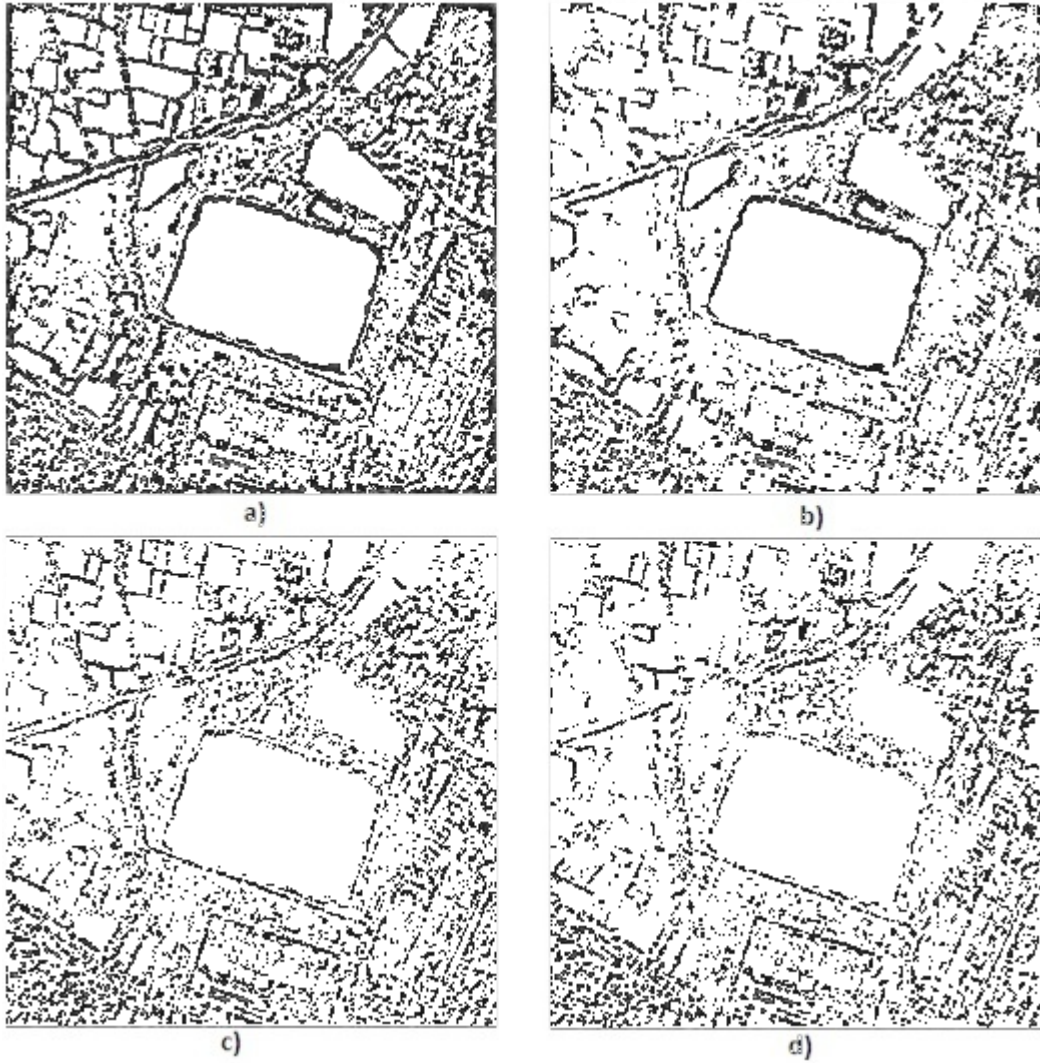
Şekil 6.10 (devam) : a) PAN (2.8 m.), b) MS (11.2 m), c) orijinal MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.10 (devam) : a) PAN (2.8 m.), b) MS (11.2 m), c) orijinal MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları d) GIHS e) SW f) AW g) AWLP h) IAWP i) CBD j) ECB k) BFS l) BFA m) BFLP n) WSW o) WAW p) WAWLP q) ABFA r) AWA.

Şekildeki yeşil kare içine alınmış alan, daha iyi anlaşılması için kırmızı ile işaretlenmiş alanın büyütülmüş versiyonudur. Beklendiği üzere, GIHS sonuçları oldukça kötü çıkmaktadır. Yer değiştirme metotlarının aşırı keskinleşmeye ve renk kaybına neden olduğu görülebilmektedir. Toplamsal yöntemlerden AW, WAW ve BFA yöntemleri (sabit parametrelili yöntemler), yer değiştirme metoduna nazaran daha iyi sonuçlar vermekle beraber, hala keskinlik ve renk problemi göze çarpmaktadır. Luminans yöntemlerinin (AWLP, IAWP, WAWLP ve BFLP) performanslarının iyi olduğu görülmekle beraber, dikkatli bakıldığında renk kayıpları görülmektedir. Geniş detayların olduğu alanlarda CBD ve ECB yöntemlerinin daha iyi olduğu bilinmektedir. Görüntülere bakıldığında, CBD iyi olmakla beraber, bazı detayların sonuç görüntüsünde kaybolduğu gözlemlenmiştir. ECB yönteminin bu detayları da alarak, CBD nin bulanık olduğu yerlerde daha iyi performans göstermiştir. Diğer lokal yöntemler olan ABFA ve AWAW yöntemlerinin de ECB gibi bu bölgelerde daha iyi performans sergiledikleri görülebilmektedir.

Önceki görüntüde olduğu gibi; AW, ECB, ABFA ve AWAW yöntemlerinin Şekil 6.10' da gösterilen MS görüntüsünün bir bandına, ne kadar detay ilave edildiğini gösteren görüntü aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.11 : Füzyon yöntemlerinin MS görüntünün ilk bandına ilave ettikleri detay miktarları **a) AW b) ECB c) ABFA d) AWAW.**

Şekil 6.11 incelendiğinde, AW yönteminin ne kadar fazla detay aldığı daha iyi anlaşılmaktadır. Büyütülerek verilen yol olan noktada yöntemlerin birbirine yakın miktarlarda detay aldığı görülebilir. Ortada kare gibi olan sulu bölgenin kenarlarından detayların daha az ilave edilmesi gerekirken, ECB yönteminin burada aşırı detay ilave ettiğini söylemek mümkündür.

Görsel analizlerin sonucunda en iyi yöntemlerin yine ABFA ve AWAW yöntemleri olduğu söylenebilir. Görsel analiz sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için, daha önce ifade edilmiş olan nicel kriterler, sırasıyla tablolar aracılığıyla verilmiştir. Tablolarda kırmızı renkli olanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Şekil 6.10 da görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait RMSE değerleri Çizelge 6.15 de verilmiştir.

Çizelge 6.15 : Füzyon yöntemlerinin RMSE değerleri.

	RMSE				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	24.8561	22.6503	24.2406	16.9033	22.1626
SW	19.9886	18.0382	19.9546	14.5949	18.1441
AW	19.1375	17.8036	21.4242	14.5335	18.2247
AWLP	17.8679	16.7604	19.6937	16.0140	17.5840
IAWP	17.8717	16.5020	18.9129	15.7102	17.2492
CBD	19.2179	18.4651	22.1825	14.7333	18.6497
ECB	18.6859	17.7190	21.1797	14.1806	17.9413
BFS	19.2384	17.3280	18.9510	14.1667	17.4210
BFA	18.3740	16.8079	19.6030	14.6357	17.3552
BFLP	17.5113	16.1791	18.5889	14.7102	16.7474
WSW	19.5482	17.4419	19.2236	13.7110	17.4812
WAW	18.3929	16.9956	20.3649	14.1256	17.4698
WAWLP	17.4448	16.1983	19.0075	15.0204	16.9177
ABFA	18.0665	16.5852	19.7007	14.0599	17.1031
AWAW	17.9984	16.4979	19.6194	13.9155	17.0078

RMSE değerleri, füzyon sonucunda, spektral bilginin ne kadar korunduğunu ifade eder. Quickbird uydusunun spektral özellikleri, IKONOS-2' ye benzemektedir. Dolayısıyla, GIHS metodunun sonuçlarının kötü olması beklenmektedir. Görüntüde küçük detayların fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, luminans metotlarının daha iyi sonuçlar vermesi beklenmektedir. BFLP ve WAWLP en iyi sonuçları verirken, bunları AWAW yöntemi takip etmektedir. Bu da AWAW yönteminin lokal olsa bile, küçük detaylı görüntülerde, ECB ve CBD yöntemlerinden daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 6.10 da görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait CC değerleri Çizelge 6.16 da verilmiştir.

Çizelge 6.16 : Füzyon yöntemlerinin CC değerleri.

	CC				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.8208	0.8613	0.8276	0.8830	0.8482
SW	0.8750	0.9047	0.8850	0.9087	0.8933
AW	0.8875	0.9105	0.8810	0.9079	0.8967
AWLP	0.9013	0.9192	0.8963	0.8986	0.9038
IAWP	0.9020	0.9207	0.8997	0.8948	0.9043
CBD	0.8877	0.9061	0.8751	0.9076	0.8941
ECB	0.8930	0.9121	0.8846	0.9120	0.9004
BFS	0.8854	0.9124	0.8964	0.9152	0.9023
BFA	0.8953	0.9177	0.8934	0.9060	0.9031
BFLP	0.9060	0.9239	0.9038	0.9074	0.9103
WSW	0.8811	0.9113	0.8929	0.9234	0.9022
WAW	0.8951	0.9166	0.8884	0.9126	0.9032
WAWLP	0.9062	0.9239	0.9010	0.9065	0.9094
ABFA	0.8989	0.9201	0.8943	0.9135	0.9067
AWAW	0.8998	0.9209	0.8954	0.9153	0.9079

Korelasyon değerleri, MS bantlarındaki rengin ne kadar koruduğunu ifade ettiğine göre, renkleri en çok bozan GIHS yönteminin sonuçları beklendiği gibi oldukça kötü görünmektedir. CC sonuçları, genellikle RMSE sonuçlarına paralel çıkmaktadır. Bu yüzden, burada da beklendiği gibi en iyi yöntemler, sırasıyla; BFLP, WAWLP ve AWAW yöntemleridir.

Şekil 6.10 da görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait RM değerleri Çizelge 6.17 de verilmiştir.

Çizelge 6.17 : Füzyon yöntemlerinin RM değerleri.

	RM				
	1.Bant	2.Bant	3.Bant	4.Bant	Ortalama
GIHS	0.1497	0.2402	0.2727	0.3167	0.2448
SW	0.7320	0.8855	0.8332	0.6059	0.7641
AW	0.8576	0.7427	0.7493	0.9612	0.8277
AWLP	0.5200	0.6115	0.7607	1.2560	0.7871
IAWP	0.0390	0.0134	0.1509	0.6745	0.2194
CBD	0.1472	0.0237	0.1756	0.5321	0.2197
ECB	0.3482	0.2413	0.1767	0.4832	0.3124
BFS	0.0986	0.1903	0.2271	0.3549	0.2177
BFA	0.0903	0.1822	0.2124	0.3547	0.2099
BFLP	0.0326	0.0031	0.1558	0.5825	0.1935
WSW	0.0850	0.2487	0.3754	0.0435	0.1882
WAW	0.0054	0.0888	0.1153	0.4159	0.1564
WAWLP	0.2321	0.1718	0.0012	0.4158	0.2053
ABFA	0.0091	0.1027	0.1721	0.3651	0.1623
AWAW	0.0586	0.1686	0.2639	0.3173	0.2021

Ortalama piksel değerinin ne kadar kaydığıнын bir ifadesi olan RM değerlerinde en iyi sonucun WAW, WSW ve BFLP yöntemiyle elde edildiği görülürken, bu yöntemleri AWAW ve WAWLP yöntemleri takip etmektedir. Daha önceki sonuçlarda da ifade edildiği gibi ATWT tabanlı yöntemlerin spektral bias sorunu bu görüntüler için de görülebilmektedir. Önerilen yöntemlerin tamamı, ATWT tabanlı metotlara oranla, spektral biası daha iyi koruduğu açıkça görülmektedir.

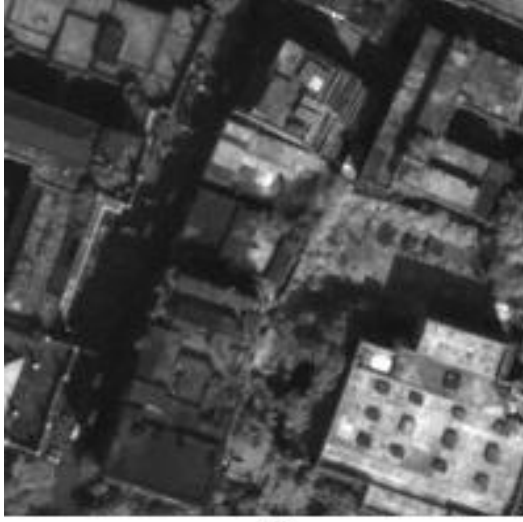
Şekil 6.10 da görülen pankeskinleştirme yöntemlerine ait SAM, ERGAS ve Q4 değerleri Çizelge 6.18 de verilmiştir.

Çizelge 6.18 : Füzyon yöntemlerinin SAM, ERGAS, Q4değerleri.

	SAM	ERGAS	SERGAS	Q4
GIHS	5.0216	5.5960	6.4597	0.6955
SW	5.1868	4.5691	7.8851	0.7650
AW	4.8898	4.5986	8.0067	0.7905
AWLP	4.0142	4.4096	8.1705	0.8031
IAWP	4.0142	4.3233	8.2875	0.7952
CBD	4.7947	4.7094	8.3455	0.7853
ECB	4.8646	4.5291	8.0889	0.7930
BFS	4.8617	4.3843	8.1485	0.7722
BFA	4.6256	4.3635	8.1826	0.7874
BFLP	4.0142	4.2026	8.2326	0.8029
WSW	5.0739	4.4086	7.9977	0.7689
WAW	4.8132	4.4042	8.0327	0.7923
WAWLP	4.0142	4.2456	8.1194	0.8049
ABFA	4.5771	4.3071	8.1651	0.7963
AWAW	4.5658	4.2842	8.2050	0.7982

ERGAS değeri MS görüntünün 4 bandı ile füzyon görüntüsünün 4 bandı arasındaki global hatayı temsil ettiği için beklendiği gibi en iyi sonuçları sırasıyla WAWLP, BFLP ve AWAW yöntemleri almıştır. SERGAS değerleri füzyon görüntüsünün histogramı uyarlanmış PAN görüntüsüyle arasındaki hatanın ifadesi olduğu için, daha fazla detay ilave eden yöntemler olan GIHS ve yer değiştirme metotları (SW, WSW ve BFS) daha iyi sonuçlara ulaşmıştır. SAM değeri, MS ile füzyon sonucu arasındaki açısıl benzerliğin bir ifadesi olduğu için, luminans metotlarının sonucunun birbirinin aynı çıkması gerekir. Bu kriterde de en iyi sonucu luminans metotları alırken, bu yöntemleri, AWAW takip etmiştir. Q4 değeri yine MS ile füzyon görüntüsü arasındaki global benzerliğin bir ifadesidir. Bu kriterde de en iyi sonuç WAWLP yöntemi ile elde edilmiştir.

Quickbird uydusuna ait orijinal PAN ve genişletilmiş MS görüntüleri, sırasıyla Şekil 6.12. a ve 6.12.b de verilmiştir. Bu görüntülere pankeskinleştirme metotları uygulanarak elde edilen füzyon sonuçları ise Şekil 6.12.c-q arasındadır.



a)



b)



c)



d)

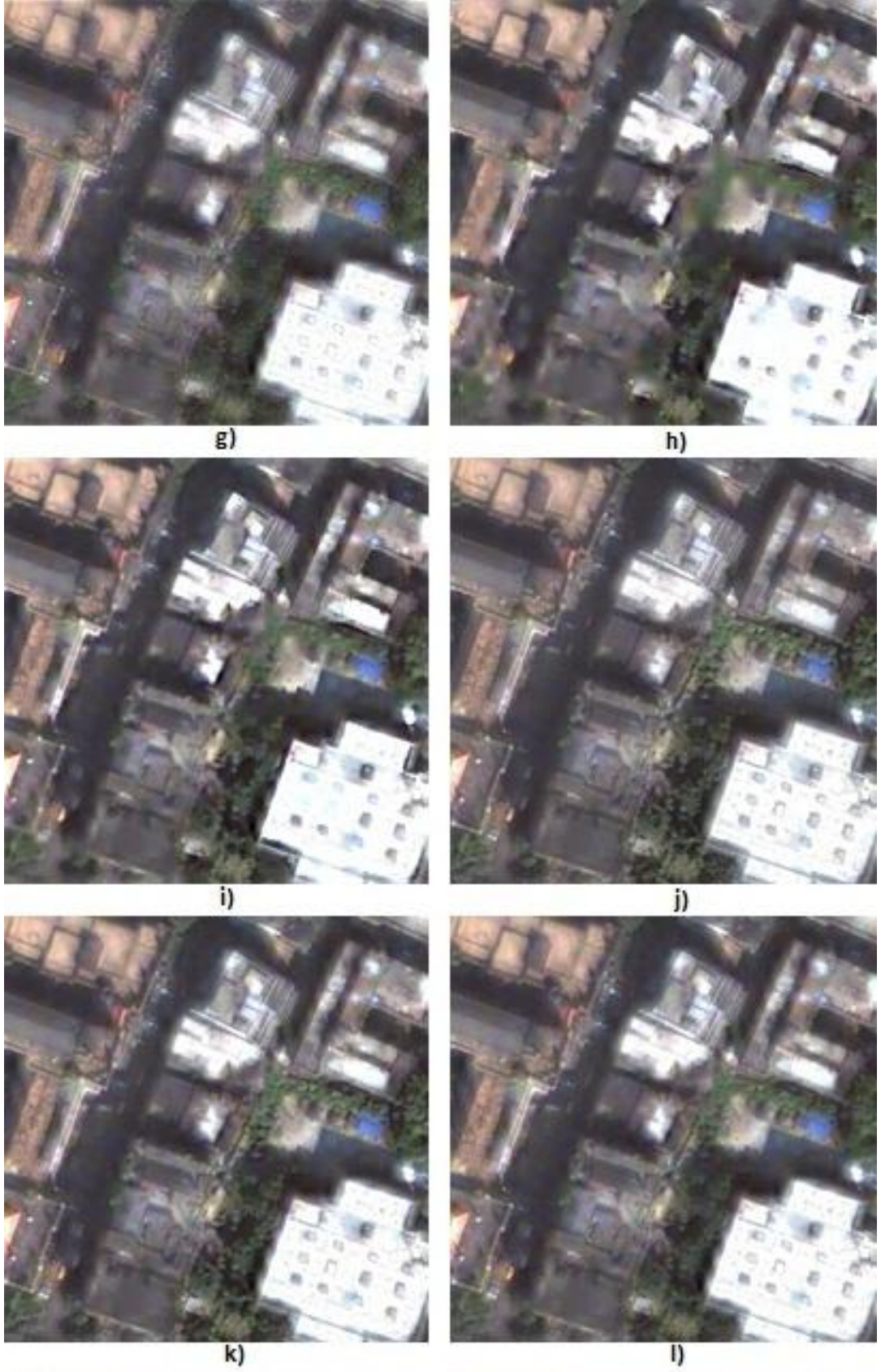


e)



f)

Şekil 6.12 : a) PAN (0.7 m), b) MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) ABFA r) AWAW.



Şekil 6.12. (devam) : a)PAN (0.7 m.), b) MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) AWAW.



Şekil 6.12. (devam) : a) PAN (0.7 m.), b) MS (2.8 m) ve Füzyon Sonuçları c) GIHS d) SW e) AW f) AWLP g) IAWP h) CBD i) ECB j) BFS k) BFA l) BFLP m) WSW n) WAW o) WAWLP p) ABFA q) AWA.

En keskin sonuçların GIHS ve yer değiştirme metotları ile elde edildiği görülmektedir. GIHS metodundaki renk bozulması açıkça görülebilirken, yerdeğiştirme metotlarındaki bozulmalar, dikkatli bir incelemeyle görülebilmektedir. Seçilen görüntüdeki en önemli özellik, beyaz binanın üzerindeki bazı detayların, MS görüntüsünde varolmayışıdır. Böylelikle, fazla detay ilave sorununun, hangi yöntemlerde daha az olduğunu tespit etmek mümkün olacaktır. Bu durumlarda en iyi sonucun lokal yöntemlerle elde edileceği bilinmektedir. Sonuç görüntülerinde beyaz bina dikkatlice incelendiğinde, CBD, ECB ve AWAW lokal yöntemlerinin bu detayları almadığı gözlemlenmiştir. CBD yönteminin yeşil alanlarda bulanıklaşma sorunu yaşamaktayken, ECB yönteminde bu bulanıklık azalmış, AWAW yönteminde ise hiç görünmemektedir. Yine beyaz bina üzerindeki detaylara dönersek, AWAW yöntemi detay almama konusunda, diğer lokal yöntemlerden daha iyi başarıma ulaşmıştır.

Pankeskinleştirme yöntemlerine ait QNR tablosu Çizelge 6.19 da verilmiştir. Tabloda kırmızı renkli olanlar en iyi, mavi olanlar ikinci en iyi, yeşil olanlar ise üçüncü en iyi değere karşı düşmektedir.

Çizelge 6.19 : Füzyon yöntemlerinin D_λ , D_S ve QNR değerleri.

	D_λ	D_S	QNR
GIHS	0.1494	0.0448	0.8125
SW	0.1302	0.0476	0.8284
AW	0.0950	0.0398	0.8690
AWLP	0.0901	0.0372	0.8761
IAWP	0.0798	0.0241	0.8980
CBD	0.0890	0.0331	0.8808
ECB	0.0771	0.0332	0.8923
BFS	0.0955	0.0354	0.8725
BFA	0.0680	0.0430	0.8919
BFLP	0.0571	0.0368	0.9082
WSW	0.1201	0.0444	0.8408
WAW	0.0934	0.0403	0.8701
WAWLP	0.0450	0.0468	0.9103
ABFA	0.0658	0.0338	0.9026
AWAW	0.0509	0.0342	0.9166

Çizelgeye göre geometrik bozulmanın en az olduğu yöntemler sırasıyla WAWLP, BFLP ve AWAW iken, radyometrik bozunmanın en az olduğu yöntemler sırasıyla, IAWP, CBD ve ECB yöntemleridir. Her iki bozulmayı gözönüne alan QNR değerine göre en iyi sonuçlar, sırasıyla, AWAW, WAWLP ve BFLP yöntemleriyle elde edilmiştir. Bu da detay ilavesinin belli ölçüde kısıtlanmasının görüntünün hem geometrik hem radyometrik özelliklerini daha iyi koruduğunu gösterir.

Farklı uydu görüntülerinden alınan görüntülerin görsel ve nicel analiz sonuçları, bir bütün olarak ele alındığında, şu sonuçlara ulaşmak mümkündür.

GIHS yönteminin iyi çalıştığı görüntüler, sadece MS görüntüsünün parlaklık bileşeni ile PAN görüntüsü arasındaki uyumun yüksek olduğu durumlardır. Diğer görüntülerde ise, GIHS sonuçları aşırı keskinleştirmeye ve renk bozulmasına neden olmaktadır.

Yer değiştirme metotları, renk korunumunu, genel olarak GIHS' den iyi yapmakla beraber, yetersiz kalmaktadırlar. Yine bu yöntemlerde aşırı keskinlik göze çarpmaktadır.

Toplamsal yöntemler, yer değiştirme metoduna oranla daha iyi olsalar bile, bu yöntemlerde de aşırı detay ilavesinden kaynaklı benzer sorunlara rastlanmaktadır.

Alperone ve diğ. (2007) de en iyi iki yöntem olarak göze çarpan AWLP ve CBD ile CBD nin geliştirilmiş versiyonu olan ECB, belli görüntü türlerinde en iyi sonuçlara ulaşmışlardır. Bütün sonuçlar gözönünde bulundurulduğunda, küçük detaylar içeren (şehir gibi) görüntülerde, AWLP sonuçları daha iyi iken, daha geniş detayların olduğu (kırsal alan gibi) görüntülerde, ECB yöntemi daha iyi sonuç vermiştir. AWLP metodundaki genel problem ise spektral kayma ve aşırı detay ilavesidir. Bunu gidermek için önerilen IAWP, daha iyi sonuçlar vermekle beraber, bulanıklaşma sorununa neden olmuştur.

Önerilen bilateral süzgeç ve WATWT tabanlı yöntemlerde, detaylar çıkarılırken yüksek geçiren değil, detayların sınırlandırılmasını sağlayacak şekilde (IAWP deki gibi) hareket ettikleri için, aşırı detay ilavesi sorununundan fazla etkilenmemektedirler.

Tıpkı AWLP gibi, BFLP ve WAWLP yöntemleri de küçük detaylı görüntülerde daha iyi başarımlar sağlamışken, lokal yöntem olarak önerilen AWAW yöntemi, geniş

detaylarda başarımlı sağlamasının yanısıra, küçük detaylı görüntülerde de tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Sonuç olarak; önerilen yöntemler, karşılığı olan klasik yöntemlerden daha iyi olmakla beraber, tüm yöntemler arasında en başarılı yöntem olarak AWAW yöntemi göze çarpmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

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. Yapılan işlem, PAN görüntüsü yardımıyla, MS görüntüsünün keskinleştirilmesi olduğundan, bu işleme Pankeskinleştirme de denilmektedir.

Literatürde bu konudaki ilk yöntemler, IHS ve PCA tabanlı pankeskinleştirme yöntemleridir. Bu yöntemlerde; eğer PAN görüntüsü ile MS görüntüsü arasındaki korelasyonlar yüksek değilse sonuçlardaki bozunum miktarı oldukça yüksek olmaktadır.

ARSIS konsepti de denilen, son yıllarda önerilen yöntemlerin tamamı; PAN görüntüsünden elde edilen detayların, belli bir yöntemle, MS görüntüsüne eklenmesini kapsamaktadır.

Bu konseptteki yöntemlerin en iyileri ATWT tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemlerden SW ve AW; MS görüntüyü aşırı derecede keskinleşmesine neden olmaktadır. Bu sorunun temelinde, detay ilavesinin fazla olması yatmaktadır. AWLP yöntemi, detay ilavesini biraz sınırlandırmış olsa da, daha çok küçük detaylı bölgelerde iyi çalışmaktadır. AWLP yönteminin fazla detay ilave sorununu biraz azaltmayı başaran IAWP yönteminde ise bulanıklık problemleri oluşmaktadır.

MS görüntüsüne detayları; bir pencere içerisinde farklı oranlarda ekleyen CBD yöntemi; belli bölgelerde hiç detay ilavesi yapmazken, belli bölgelerde aşırı detay ilavesi yapmaktadır. Bu da belli bölgelerde bulanıklığa yol açmaktadır. Hiç detay almamaktansa, az detay ilavesi alınmasını sağlayan ECB yönteminde bu sorun

ortadan kalkmıştır. Her iki yöntem, daha geniş detayların olduğu bölgelerde iyi çalışmaktadırlar.

Görüldüğü üzere, yapılan çalışmalar temelde iki sorun üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlardan ilki sınırlı detay ilavesinin sağlanması iken, ikincisi görüntünün farklı bölgelerinde farklı detay ilavesinin sağlanmasıdır. Tezin bu konudaki katkıları, bilateral süzgeç ve WATWT tabanlı pankeskinleştirmedir.

Bilateral süzgeçler yardımıyla, ATWT benzeri bir ayrışımın yapılabildiği bilinmektedir. Bilateral süzgeçler, hem konumsal hem uzamsal parametreler yardımıyla ayrışım yaparak, daha faydalı bilgilerin aktarımını sağlamaktadır. Konumsal parametre, süzgeçleme yaparken, ilgili pikselin komşu piksellerin ne kadar dikkate alınacağını ifade ederken; uzamsal parametre, ilgili pikselin değeriyle diğer piksellerin yakınlığının ne kadar dikkate alınacağını kontrol eder. Bu parametrelerin yüksek değerli alınması halinde, süzgeç, Gauss süzgecine yakınsarken, çok düşük değerli parametreler, çok az detay çıkarılmasına neden olur.

Tezin bir diğer katkısı; bilateral süzgeçlerde kullanılan uzamsal parametrenin devre dışı bırakılarak, yerine ATWT de kullanılan maskenin yerleştirildiği bir yöntem olan ağırlıklandırılmış ATWT yöntemidir. Aslında, burada kullanılan parametrenin ATWT dönüşümüne bir ağırlık katsayısı gibi olduğu görüldüğünden bu dönüşüm WATWT olarak adlandırılmıştır. Burada kullanılan parametrenin çok yüksek seçilmesi, yöntemin ATWT' ye yakınsamasına yol açar. Çok düşük parametre değerleri ise, çıkarılacak detayların çok az olmasına neden olur.

Hem bilateral süzgeçler, hem WATWT; detayları, ATWT tabanlı yöntemlerdeki gibi, detay çıkarımından sonra değil, detay çıkarımı esnasında sınırlandırmaktadırlar.

Her iki yöntem içinde sabit veya değişken parametre kullanımı mümkün olmaktadır. Sabit parametre kullanımında tüm görüntüye aynı süzgeçleme işlemi yapılmış olur. Değişken parametre kullanımında ise; görüntünün her bir bölümünde ayrı parametre tercih edilmiş olur. Görüntünün farklı özelliklerini de göz önüne alan ve uyarlamalı bir metot olan değişken parametrelili yöntemin daha doğru olacağı açıktır.

WATWT yönteminin, bilateral süzgeçlere yakın performans vermesi beklenirken, tek parametre kullanılması sebebiyle, daha hızlı olması beklenmiştir. Ancak, ATWT de kullanılan spline süzgecinin de etkisiyle, hem daha hızlı hem daha iyi performanslı sonuçlar elde edilmiştir.

Önerilen yöntemler; literatürdeki yöntemlerden daha iyi olmakla beraber, füzyon sonuçlarında hala bazı bölgeler için detay ilavesinin iyi ayarlanamadığı görülmektedir. Ayrıca, daha iyi çalışan uyarlamalı yöntemin, çok büyük görüntülerde ağır çalıştığı söylenebilir.

Bundan sonraki dönem için aşağıda belirtilen konular üzerinde çalışılması düşünülmektedir:

- Tezde önerilen detayların sınırlandırılarak çekilmesini sağlayan farklı süzgeç yapıları kullanılabilir. Literatürde mevcut pek çok kenar koruyan filtre bulunmaktadır. Bu yapılar pankromatik detayların çoklu çözünürlük ilkesi kapsamında çekilebilmesi için bilateral süzgeç yapılarında olduğu gibi değiştirilebilir, filtre parametreleri yine tez çalışmasında önerilmiş olduğu gibi metrik optimizasyonundan ya da adaptif olarak pankromatik ve ms görüntülerin lokal istatistikleri kullanılarak hesaplanabilir. Bu şekilde işlem yükü daha da düşürülerek daha hızlı pankeskinleştirme yöntemleri önerilebilir.

- Önerilen yöntemlerin mevcut yöntemlerle karşılaştırılması aşamasında literatürde kullanılan konumsal ve spektral metriklerin yanı sıra orijinal ve füzyon sonucu elde edilmiş görüntülerin histogramları karşılaştırılarak yöntemlerin performansı hakkında daha sağlıklı karar verilebilir. Ayrıca konumsal detay bakımından zengin bölgelerden hat profilleri çıkartılarak yöntemlerin detay aktarım başarımları karşılaştırılabilir.

- Tezde önerilen pankeskinleştirme yöntemleri hiperspektral ve pankromatik görüntülerin füzyonu problemine de uygulanabilir. Bu şekilde hiperspektral görüntülerin kullanıldığı çeşitli uzaktan algılama uygulamalarında daha yüksek başarımlar sağlanabilir.

- Seyrek (sparse) gösterimler yardımıyla, PAN görüntüsü ifade edilebilir. Bu şekilde sözlük öğrenmesi ile PAN görüntüden elde edilecek sözlükler tezde önerilen yöntemler ile birleştirilerek ilave edilecek detayların kontrolü sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A. ve Selva, M.** (2006). MTF-tailored multiscale fusion of high-resolution MS and Pan imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72 (5), 591-596.
- Alperone, L., Baronti, S., Garzelli, A. ve Nencini, F.** (2004). Landsat ETM+ and SAR image fusion based on generalized intensity modulation, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42 (12), 2832–2839.
- Alparone, L., Univ. di Firenze, F., Wald, L., Chanussot, J ve Thomas, C.** (2007). Comparison of Pansharpening Algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion Contest, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45 (10), 3012-3021.
- Alperone L., Aiazzi B., Baronti S., Garzelli A., Nencini F. ve Selva M.** (2008). Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference, *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 74(2), 193-200.
- Bovik, A. ve Wang, Z.** (2002). A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, 9 (3), 81-84.
- Carpet, W. J., Lillesand T. W. ve 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.
- Centre National d’Etudes Spatiales**, (2013, April, 2). *Spot Image Quality Performances* [PDF slides]. Retrieved from <http://www.astrium-geo.com/en/193-spot-images>
- Cheng, M., Wang, C. Ve Li, J.** (2015). Sparse Representation Based Pansharpening Using Trained Dictionary, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11 (1), 293-297.
- Choi, M., Kim, R.Y., Nam, M-R ve Kim, H.O.** (2005). Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2 (2), 136-140.
- Digitalglobe.** (2003). *QuickBird scene 000000185959_01_P005, Level Standard 2A, DigitalGlobe, Longmont, Colorado, 1/20/2002* [Image data]. Retrieved from <http://glcf.umd.edu/data/quickbird>
- Fattal, R.** (2009). Edge avoiding wavelets and their applications. *ACM. Trans. Graph.*, 28 (3), 1-10.
- Ganzalo, P. ve Jesus M.** (2004). Wavelet-based Image Fusion Tutorial, *Pattern Recognition*, 8 (37), 1855-1872.

- Garzelli A. ve Nencini F.** (2005). Interband structure modeling for Pan-sharpening of very high-resolution multispectral images, *Information Fusion*, 6, 213-224.
- Garzelli A., Nencini F. Ve Capobianco, L.** (2008). Optimal MMSE Pan Sharpening of Very High Resolution Multispectral Images, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 46 (1), 228-236.
- Gonzalez-Audicana, M., Saleta, J.L., Catalan, R.G. ve Garcia, R.** (2004). Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42 (6), 1291 – 1299
- Gonzalez ve Woods.** (2002). *Digital Image Processing, 2nd Edition*. Prentice Hall
- Hanika, J., Dammertz, H. ve Lensch, H.** (2011). Edge-Optimized À-TrousWavelets for Local Contrast Enhancement with Robust Denoising, *Pacific Graphics*, 30 (7), 1879-1886.
- Hu, J. ve Li, S.** (2012). The multiscale directional bilateral filter and its application to multisensor image fusion, *Information Fusion*, 13(3), 196-206.
- Kaplan, N.H. ve Erer, I.** (2012). Bilateral Pyramid Based Pansharpening Of Multispectral Satellite Images. *IGARSS '12, Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (pp.2376-2379). Germany: Munich, July 22-27.
- Kaplan, N.H., Erer, I. ve Elibol, F.** (2012). Fusion Of Multispectral And Panchromatic Satellite Images By Combining Bilateral Filter And Ihs Transform. *EUSIPCO '12, Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference*, (pp.2501-2505). Romania: Bucharest, August 27-31.
- Kaplan, N.H. ve Erer, I.** (2014). Bilateral Filtering-Based Enhanced Pansharpening of Multispectral Satellite Images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11 (11), 2376 – 2379.
- Kim Y., Lee C., Han D., Kim Y. ve Kim Y.** (2011). Improved Additive-Wavelet Image Fusion, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8 (2), 263-267.
- Lillo-Saavedra, M., Gonzalo, C., Arquero, A. ve Martinez, W.** (2005). Fusion of multispectral and panchromatic satellite sensor imagery based on tailored filtering in the Fourier domain, *International Journal of Remote Sensing*, 26 (6), 1263-1268.
- Luo, B.** (2012). Decision-Based Fusion for Pansharpening of Remote Sensing Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10 (1), 19-23.
- Nunez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Pala, V. ve Arbiol, R.** (1999). Multiresolution-Based Image Fusion with Additive Wavelet Decomposition, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37 (3), 1204-1211.
- Otazu, X., Gonz  les Audicana, M., Fors, O. ve Núñez, J.** (2005). Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to wavelet-based methods, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (10), 2376–2385.

- Pajares, G. ve Manuel de la Cruz, J.** (2004). A wavelet – based image fusion tutorial, *Pattern Recognition*, 38 (9),1855-1872.
- Paris, S., Kornprobst, P. ve Tumblin, J.** (2009). Bilateral Filtering: Theory and Applications, *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, 4 (1), 1-73.
- Petrovic, V. S.** (2001). *Multi-sensor Pixel Level Image Fusion*, (Doktora tezi). Manchester School Of Engineering, Manchester.
- Pradhan, P.** (2005). *Multiresolution based, multisensor, multispectral image fusion*, (Doktora tezi). Mississippi State University, Mississippi
- Ranchin, T. ve Wald, L.** (2000). Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation, *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 66 (1), 49–61.
- Space Imaging,** (2000). *IKONOS scene po-37836, Level Standard Geometrically Corrected, GeoEye, Dulles, Virginia, 11/30/2000* [Image data]. Retrieved from <http://glcf.umd.edu/data/ikonos>
- Tu T.-M., Su S.-C., Shyu H.-C. ve Huang P. S.** (2001). A new look at IHS-like image fusion methods, *Information Fusion*, 2,177–186.
- Tu T.-M., Su S.-C., Shyu H.-C. ve Huang P. S.** (2004). A Fast Intensity–Hue–Saturation Fusion Technique With Spectral Adjustment for IKONOS Imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1 (4), 309-312.
- Vicinanza, M.R., Restaino, R., Vivone, G., Dalla Mura, M. ve Chanussot, J.** (2015). A Pansharpening Method Based on the Sparse Representation of Injected Details, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 12 (1), 180-204.
- Wald, L., Ranchin, T. and Mangolini, M.** (1997). Fusion of satellite images of different spectral resolutions: Assessing the quality of resulting images, *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 63 (6), 691-699.
- Wald, L.** (2000). Quality of high resolution synthezed images: Is there a simple criterion?, *Proceedings of 2nd International Conferenthe fusion of Earth Data*,(pp.99-103). France: Nice, January.
- Zhang, Y. ve Hong, G.** (2005). An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and Quickbird images, *Information Fusion*, 6 (3), 225-234.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Nur Hüseyin KAPLAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Diyarbakır 1982

E-Posta: kaplann@itu.edu.tr

Lisans: İTÜ Elektronik ve Haberleşme Müh.

Yüksek Lisans: İTÜ Telekomünikasyon Müh.

Yayın ve Patent Listesi:

- **Karasakal, G., Kaplan, N.H., ve Erer, I.** (2009). Speckle noise reduction in SAR imaging using lattice filters based subband decomposition. *EUSIPCO '09, Proceedings of 17th European Signal Processing Conference*, (pp.2598-2602). UK: Scotland, Glasgow, August 24-28.
- **Kaplan, N.H., Erer, I. ve Kent, S.** (2009). Edge Detection in Remote Sensing Images via Lattice Filters Based Subband Decomposition. *RAST' 09, Proceedings of 4th International Conference on Recent Advances in Space Technology*, (pp.437-440). Turkey: Istanbul, June 11-13.
- **Kaplan, N.H., Erer, I., Kent, S., Doganlarlioglu ve A., Kartal, M.** (2010). Fusion of Multispectral and SAR images via Lattice filters-PCA hybrid model. *EUSAR' 10, Proceedings of 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar* (pp.1-4). Germany: Aachen, June 07-10.
- **Kaplan, N.H. ve Erer, I.** (2011). A new subband domain method for spatial frequency based image fusion. *RAST' 11, Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technology* (pp.213-218). Turkey: Istanbul, June 9-11.
- **Kaplan, N.H. ve Erer, I.** (2013). An Additive Empirical Mode Decomposition Based Method for the Fusion of Remote Sensing Images. *RAST '13, Proceedings of 6th International Conference on Recent Advances in Space Technology* (pp.165-169). Turkey: Istanbul, June 12-14.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Kaplan, N.H. ve Erer, I.** (2012). Bilateral Pyramid Based Pansharpening Of Multispectral Satellite Images. *IGARSS '12, Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (pp.2376-2379). Germany: Munich, July 22-27.
- **Kaplan, N.H., Erer, I. ve Elibol, F.** (2012). Fusion Of Multispectral And Panchromatic Satellite Images By Combining Bilateral Filter And Ihs Transform. *EUSIPCO '12, Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference*, (pp.2501-2505). Romania: Bucharest, August 27-31.
- **Kaplan, N.H. ve Erer, I.** (2014). Bilateral Filtering-Based Enhanced Pansharpening of Multispectral Satellite Images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11 (11), 2376 – 2379.
- **Kaplan, N.H., ve Erer, I.** (2014). Fusion of satellite images using bilateral filter based edge preserving image decomposition, *SIU' 14, Proceedings of 22nd IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference*, (pp.1954-1957). Turkey: Trabzon, April 23-25.
- **Kaplan, N.H., ve Erer, I.** (2015). Pansharpening of Multispectral Images via Weighted Additive Wavelet Transform, *Proceedings of 7th International Conference on Recent Advances in Space Technology*, Istanbul, Turkey, June 16-19.