

57485

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR
GÖRÜNTÜLERİNİN SIKIŞTIRILMASI

Elektro. ve Hab. Müh. Serkan EMEK

F.B.E. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Anabilim Dalında hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. F. Ayhan SAKARYA

İSTANBUL, 1996

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	vi
I. GİRİŞ.....	1
1.1. Görüntü Sıkıştırmanın Önemi.....	1
1.2. Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinin Sıkıştırılması.....	2
II. YAPAY AÇIKLIKLIL RADAR GÖRÜNTÜLERİ.....	3
2.1. Elektromanyetik Spektrum.....	3
2.2. Radarların Görüntüleme Temel Prensipleri.....	4
2.3. YAR Görüntülerinin Oluşturulması.....	5
2.4. YAR Görüntülerinin Yapısı.....	7
2.5. YAR Görüntü Sıkıştırma Modeli.....	8
2.6. YAR Görüntülerinin Ön Süzgeçlenmesi.....	8
III. KAYIPLI SIKIŞTIRMA TEKNİKLERİ.....	10
3.1. Sabit Katsayılı Dönüşümler.....	10
3.1.1. Ayrık Kosinüs Dönüşümü.....	12
3.1.2. Ayrık Sinüs Dönüşümü.....	14
3.1.3. Karhunen-Loeve Dönüşümü.....	15
3.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü Yardımıyla Alt Band Ayırımı.....	17
3.2.1. Ara Değer Artırma ve Azaltma.....	18
3.2.2. Alt Band Ayırım Süzgeçlerinin Özellikleri.....	22
3.2.3. İki Kanallı Dörtgen Ayna Süzgeç Takımı.....	24
3.2.4. Alt Band Ayırımının İki Boyutlu İşaretlere Uygulanması.....	28

IV. KAYIPSIK SIKIŖTIRMA TEKNİKLERİ.....	30
4.1. Huffman Kodlaması.....	31
4.2. Öngörü Kodlaması.....	32
4.3. Koşu Uzunluğu Kodlaması.....	33
4.4. Lempel Ziv Kodlaması.....	34
V. YAKLAŖIMLAR VE BENZETİŖİMLER.....	35
5.1. Performans Kriterleri.....	35
5.2. Sabit Katsayılı Dönüşüm BenzetiŖimleri.....	37
5.3. Alt Band Ayrışım BenzetiŖimleri.....	46
5.4. Kayıpsız Dönüşüm BenzetiŖimleri.....	49
5.5. BenzetiŖim Sonuçları.....	49
VI. GELECEK ÇALIŖMALAR ve SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	54

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmam sırasında beni yönlendiren tez danışmanım *Yrd. Doç. Dr. F. Ayhan SAKARYA*' ya, büyük yardımlarından dolayı araştırma görevlisi arkadaşlarım *Güner ARSLAN*, *Murat AYTEKİN* ve bütün hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Serkan Emek

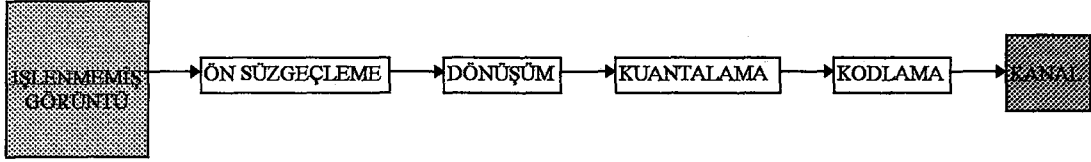
ÖZET

Büyük çaptaki Yapay Açıklıklı Radar (YAR) verilerinin iletimi ve depolanması önemli sorunlar yaratır. Bu yüzden YAR görüntülerinin iletim ve saklama maliyetini düşürmek için sıkıştırmaya ihtiyaç duyulur. YAR görüntüleri doğal olarak noktasal gürültü içerdiğinden, genellikle sıkıştırma işleminden önce ön süzgeçlemeye gerek duyulur. Ön süzgeçlenmiş YAR verileri, görüntünün tamamı mümkün olan en az bitle gösterilebilecek şekilde dönüştürülür, kuantalanır ve kodlanır. Her adım sıkıştırma işleminin bir parçasıdır. Her adıma ait doğal görüntüler için bilinen pek çok algoritma vardır. Ancak, bu algoritmaların çoklu spektral ve gürültü yapısı olan YAR görüntülerine uygulamasının sonuçları çok iyi bilinmemektedir. Ayrıca doğal görüntü sıkıştırması üzerine bir çok çalışma yapılmakla birlikte YAR görüntü sıkıştırma ile ilgili bu şekilde karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmamıştır. Bu amaçla sıkıştırma teknikleri YAR görüntülerine adapte edilmiştir.

Bu çalışmada, Şekil 1’de görülen sıkıştırma sistemini oluşturan bir çok farklı algoritma denenmiştir. Ortalama değer ve sigma süzgeçleri YAR verilerinden noktasal gürültünün kaldırılması amacıyla ayrı ayrı uygulanmıştır. YAR görüntülerine uygulanan Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD), Karhunen-Loeve Dönüşümü (KLD), Ayrık Sinüs Dönüşümü (ASD), Slant Dönüşümü (SD), Walsh-Hadamard Dönüşümü (WHD) ve Ayrık Dlgacık Dönüşümü (ADD) için karşılaştırmalı performans değerlendirmesi verilmiştir. Karşılaştırma için ortalama karesel hata (MSE), işaret-gürültü oranı (SNR), tepeden tepeye işaret-gürültü oranı (PSNR), enerji korunumu (E_C), dönüşüm kazancı (G_T), kodlama kazancı (G_C), ve toplam sıkıştırma oranı (TCR) olmak üzere yedi performans kriteri verilmiştir. Dönüştürülmüş veriye skaler kuantalama ve Lempel-Ziv kodlaması daha fazla sıkıştırma sağlamak amacıyla uygulanmıştır. Görüntü sıkıştırma adımlarının tersten uygulanmasıyla yeniden elde edilir.

Benzetişimlerde saf veri ortalama değer ve sigma süzgeçleriyle ayrı ayrı süzgeçlenmiş ve görüntüler karşılaştırılmıştır. Sigma süzgeci daha iyi sonuç vermesi nedeniyle benzetişimler için tercih edilmiştir. Görüntünün 8×8 ’lik bloklar halinde sabit

katsayılı dönüşümleri alınmıştır. ADD için 4, 6, 8, 12, 18 ve 24. derceden ayna süzgeçler kullanılmıştır. Sonra her dönüştürülmüş görüntü elmemanı skaler olarak kuantalanmış ve sonuç en yakın tamsayıya yuvarlatılmıştır. Son olarak kuantalanmış değerler toplam sıkıştırma oranını artırmak için Lempel-Ziv algoritmasıyla kodlanmaktadır.



Şekil 1. YAR Görüntüsünün Sıkıştırma Modeli

Bütün performans kriterlerine göre AKD ve KLD diğer sabit katsayılı dönüşümlerle karşılaştırıldığında mükemmel sonuç verdiği benzetişim sonuçlarından görülmektedir. MSE, SNR ve PSNR kriterlerine göre AKD ve KLD, ADD'den daha iyi sonuç vermektedir. Bunun nedeni bu tekniklerin ortalama karesel hatanın minimizasyonuna dayandırılarak ortaya konmuş olmasıdır. AKD ve KLD'de korunan dönüştürülmüş görüntü değerleri azaldıkça enerji korunumu ve kodlama kazancıda azalmaktadır. Diğer taraftan ADD için enerji korunumu yaklaşık %60, dönüşüm kazancı %75 değerini almaktadır. Kodlama kazancı bütün dönüşümler için aynıdır. ADD'nin toplam sıkıştırma oranı AKD ve KLD'den daha iyidir. Sonuçta yapılan deneylerden ADD'nün performansının diğerlerinden daha iyi olduğu, hem frekans boyutunda hem de zaman boyutunda sıkıştırma yapabildiği görülmektedir. Bu yüzden YAR görüntülerinin sıkıştırılmasında alternatif olarak tercih edilebilir.

SUMMARY

Large volume of Synthetic Aperture Radar (SAR) data possesses an important problem for data handling and archiving. Therefore, SAR images require efficient compression schemes to decrease the cost of transmission and archiving. Since SAR images inherently have speckle noise, prefiltering is usually required prior to the compression process. Prefiltered SAR data is transformed, quantized, and coded to represent the entire image with as few bits as possible. Each step contributes to the compression process. Many algorithms for each step are available and well-known for still and video images. However, their applications to SAR images, which are multispectral and noisy in nature, are not well-understood. Therefore, a special care is necessary while adopting these techniques to SAR images. This thesis applies still and video image comparison techniques to SAR images and gives their comparative evaluation as it hasn't been done before.

In this work, several algorithms are applied to SAR images to form the compression system shown in Figure 1. Mean and sigma filters are used separately to remove the speckle noise from the raw SAR data. A comparative performance evaluation is presented for Discrete Cosine Transform (DCT), Karhunen-Leove Transform (KLT), Discrete Sinus Transform (DST), Slant Transform (ST), Walsh-Hadamard Transform (WHT), and Discrete Wavelet Transform (DWT) (or Subband Decomposition) when they are applied to SAR image data. Seven performance criteria are used for comparison, namely the mean-square-error (MSE), signal-to-noise ratio (SNR), peak-to-peak SNR (PSNR), energy conservation (E_C), transform gain (G_T), coding gain (G_C), and total compression ratio (TCR). Scalar quantization and Lempel-Ziv coding are applied to the transformed data for further data reduction. Reconstructed image is obtained by reversing the order of the compression steps.

In the simulations, the raw data was prefiltered through the mean and sigma filters separately, and then the resulting images were compared. Since sigma filtering gave

cleaner image than mean filtering, sigma filtering was used in the rest of the simulations. The image was partitioned into 8x8 blocks for fixed transforms (DCT, KLT, DST, ST, WHT). For DWT, 4, 6, 8, 12, 18 and 24 tap-quadrature mirror filter (QMF) coefficients were used. Next, each transform coefficient was divided by its corresponding quantizer step size for scalar quantization. The result was then rounded to the nearest integer. Finally, the quantized coefficients were coded with Lempel-Ziv coding to increase the total compression ratio.

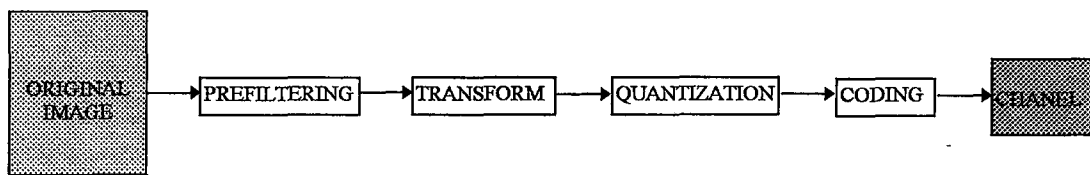


Figure 1. Image compression system

DCT and KLT give perfect results other fixed transforms based on the all performance criteria. DCT and KLT provides better results than DWT based on the normalized MSE, SNR, and PSNR criteria. As the conservation transform coefficients of DCT and KLT decrease, energy conservation and transform gain decrease too. On the other hand for DWT, energy conservation is almost 60% and transform gain is fixed at 75%. The coding gain is the same for all transforms. Total compression ratio is better for DWT than DCT and KLT. As a result, these experiments show that DWT gives the best overall performance, makes compression both in time domain and frequency domain, and therefore it should be the preferred alternative for SAR image compression.

I. GİRİŞ

Sayısal görüntülerin işlenmesi üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda büyük hız kazanmıştır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin paralelinde resim tarayıcıların maliyetinde oluşan azalma ile fotoğraflar, basılmış resimler ve diğer analog görüntüler kolaylıkla sayısal biçime dönüştürülebilir. Tıpta kullanılan manyetik rezonans görüntüleri yada tomografi görüntüleri doğrudan sayısal biçimde elde edilebilir. Radar sistemlerinden elde edilen görüntüler de sayısalıdır. Sayısal görüntülerin öneminin artmasının başlıca nedeni bu görüntülerin tekrar elde edilmesi, depolanması ve işlemenin analog görüntülere oranla daha kolay olmasıdır. Sayısal biçimde temsil edilen görüntüleri bir çok teknikle işlenmesi mümkündür. Bu gelişmeler son yıllarda bilgisayar teknolojisi, uzay araştırmaları, uzaktan algılama sistemleri ve tıp alanındaki sayısal görüntü üzerine yapılan çalışmalar sonucu olmuştur.

1.1. Görüntü Sıkıştırmanın Önemi

Sayısal görüntüdeki her piksel istenen görüntü çözünürlüğüne göre 4, 8, 16, 32 veya daha fazla bitle ifade edilir. Bu nedenle sayısal görüntülerin en büyük sorunu, görüntüyü meydana getiren bit miktarının fazla olmasıdır. Bu bit miktarının azaltılması görüntünün sıkıştırılması yoluyla mümkündür. Bunun sonucunda görüntünün depolanması veya görüntünün iletimi için gerekli kanal kapasitesi için önemli ölçüde tasarruf sağlanır.

Görüntü sıkıştırmada temel amaç bir görüntünün oluşumu için gerekli bit miktarının azaltılmasıdır. Bu ise görüntünün içerdiği artık bilgilerin görüntüden atılması ile mümkün olur. Bu amaçla kayıplı ve kayıpsız sıkıştırma teknikleri kullanılır. Kullanılan bu tekniklerin sonuçları doğal görüntüler için çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Yapay açıklıklı radar (YAR) görüntüleri için kayıplı ve kayıpsız sıkıştırma tekniklerinin sonuçları iyi anlaşılmış değildir.

1.2. Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinin Sıkıştırılması

Bu çalışmamın konusu YAR görüntülerinin sıkıştırılmasıdır. Büyük çerçeveli YAR görüntülerinde bilgi saklama ve iletme önemli bir sorundur. İletim hızını artırmak ve saklama maliyetini azaltmak için sıkıştırmaya ihtiyaç duyulur. YAR görüntülerinin içerdiği artık bilgilerin miktarı diğer görüntülere oranla daha fazladır. Çünkü YAR görüntü pikselleri birbiriyle yüksek ilişkili değildir. Bu durum ilişki katsayısına bakılarak gözlenebilir. Bundan dolayıda YAR görüntüleri üzerindeki görüntü sıkıştırma performansı oldukça başarılıdır.

Bu tezde ön süzgeçleme işleminde ortalama değer ve sigma süzgeçleri kullanılmıştır. Kullanılan kayıplı sıkıştırma teknikleri; sabit katsayılı dönüşümler -Ayrık Kosnüs Dönüşümü (AKD), Ayrık Sinüs Dönüşümü (ASD), Karhunen Loeve Dönüşümü (KLD), Slant Dönüşümü (SD), Walsh Hadamard Dönüşümü (WHD)- ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yardımıyla alt band ayrışımıdır. Kayıpsız sıkıştırma teknikleri olan Huffman, öngörü, koşu uzunluğu, Lempel Ziv teknikleri ise kuantalanan dönüştürülmüş görüntü elmanlarını kodlamak için kullanılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde YAR görüntülerinin yapısı, görüntü sıkıştırma modeli ve ön süzgeçleme işlemi anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde kayıplı sıkıştırma teknikleri, dördüncü bölümde kayıpsız sıkıştırma teknikleri hakkında bilgi verilmektedir. Beşinci bölümde anlatılan tekniklerin, YAR görüntülerine uygulanmasından elde edilen MATLAB benzetişim sonuçları ortaya konmuştur. Altıncı ve son bölümde, tez çalışmamın sonuçları ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar sunulmuştur.

II. YAR GÖRÜNTÜLERİ

Bu bölümde radarların frekans spektrumu ve görüntüleme temel prensipleri açıklandıktan sonra YAR görüntülerinin oluşturulması ve YAR görüntülerinin yapısı anlatılacaktır. Ayrıca YAR görüntüleri için bir sıkıştırma modeli sunulacak, bu modelin ilk adımı olan ön süzgeçleme işlemide burada anlatılacaktır.

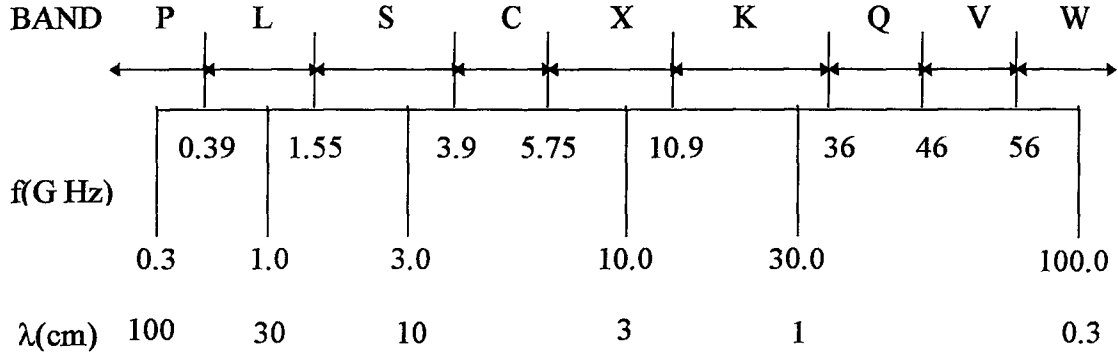
2.1. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik dalgaların frekansına ve dalga boyuna göre düzenlenir. Bu dalgalar ışık hızıyla ($c=3 \times 10^8$ m/s) hareket ederler. Uydu duyargaçları; gözle görülür kızıl ötesi, ısı kızıl ötesi ve mikro dalga bölgesindeki dalga boylarını kullanarak dünya yüzeyinin maden dağılımı, bitki örtüsü ve atmosfer sıcaklığı gibi özelliklerini ölçebilir. Mikro dalga bölgesindeki ölçümlerde yeryüzünün geometrik özellikleri belirlenbilir, toprak ve bitkilerdeki nem oranı ölçülebilir, maddelerin elektriksel geçirgenliği tayin edilebilir.

YAR duyargaçlarının gönderdiği ve aldığı dalgalar mikro dalga bölgesindedir. Bu bölge P, L, S, C, X, K, Q, V ve W bandlarından oluşmaktadır. Bu bandların mikro dalga bölgesindeki yerleşimi ve mikro dalga bölgesinin frekans eksenindeki yeri Şekil 2.1’de görülmektedir. X bandı daha çok askeri keşifler ve savunma haritalarının oluşturulmasında kullanılır. C bandı uzay ortamında iletişim sağlayan ERS-1 ve RADARSAT uyduları, S bandı ALMAZ, L bandı SEASAT ve JERS-1 uyduları tarafından kullanılır. Deneysel hava ortamında iletişim sağlayan uydular çoklu yönlendirme yetenekleri ölçüsünde P, C ve X bandlarında bilgi taşıyabilmektedirler.

Bulutlar, dalga boyları 2 cm veya daha büyük dalgalar tarafından delinip geçilebilir. Yağmuru delip geçen dalgaların dalga boyları 4 cm’den büyük olmak zorundadır. Dalga boyu 3 cm’den büyük veya frekansı 10 GHz’den küçük dalgalar bulutlardan geçebilir. Çünkü bulutlardaki su damlacıklarının tipik yarıçapı 0.1 mm’dir ve

radar dalga boylarına göre çok küçüktür. Sağnak yağmur altında küçük dalga boylarında zayıflama meydana gelir.



Şekil 2.1. Radar mikro dalga bölgesinin frekans spektrumu ($c=f\lambda$)

2.2. Radarların Görüntüleme Temel Prensipleri

Radarda aynı anten hem iletim hem de algılama için kullanılır. Bir radar anteni genel olarak bir hedefe kısa süreli yüksek enerjili darbeler gönderir. Bunların bir kısmı hedeften geri saçılır ve uzaktan algılama duyargaçları tarafından alınır. Bu elde edilen bilgiler aşağıdaki özellikleri içerir:

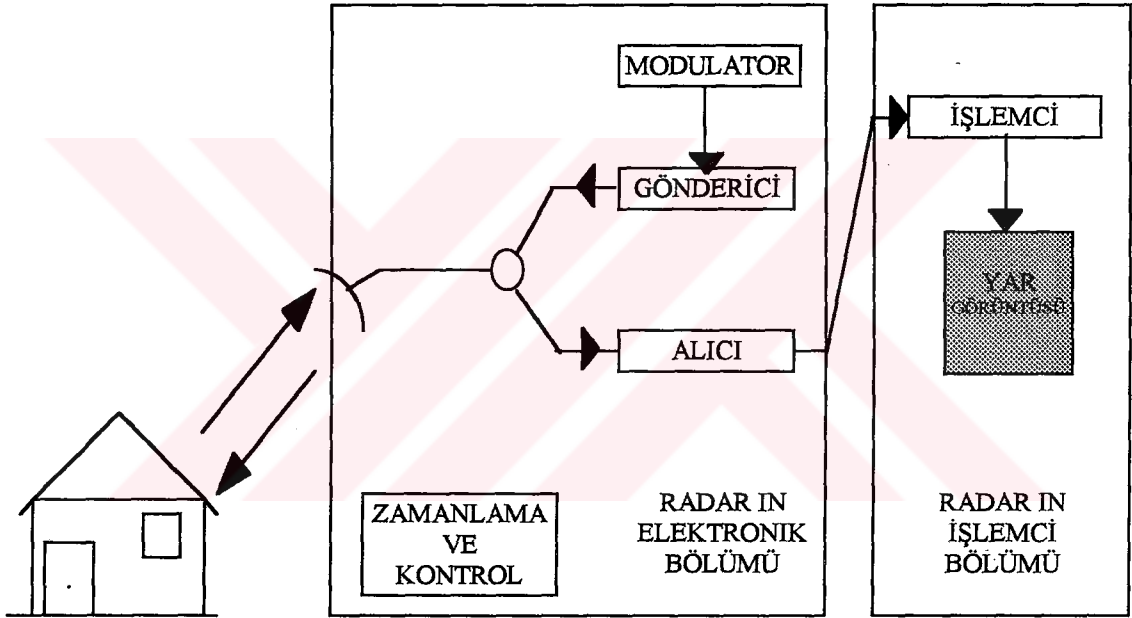
- bağıl sinyal gücü
- hedeften dönen ve yayılan darbe arasındaki zaman aralığı
- algılama doğrultusu

Alınan iki boyutlu sayısal sinyal seviyeleri veri olarak radarın elektronik bölümünde işlenir, bunlara dayanılarak görüntü oluşturulur. Gözle görülebilen görüntüde, gösterilen pikselin parlaklığı sayısal sinyal seviyesiyle orantılıdır. Anlatılan yapı Şekil 2.2’de görülmektedir.

Radardan hedefe gelen ve giden sinyaller arasındaki ilişki aşağıdaki radar denklemi ile gösterilebilir:

$$P_A = \frac{P_G G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2.1)$$

Burada P_A alınan güç, P_G gönderilen güç, G anten kazancı, λ radar dalga boyu, σ radar hedef kesiti, R hedef menzili göstermektedir.



Şekil 2.2. Radar görüntüleme sisteminin temel yapısı

2.3. YAR Görüntülerinin Oluşturulması

YAR görüntülerinin oluşturulmasını gösteren basitleştirilmiş yapı Şekil 2.3'de verilmektedir. Bu yapı bir uçağa takılmış YAR'ın görüntüyü nasıl oluşturduğunu göstermektedir. Tezde yapılan çalışmalar uydudan alınmış YAR görüntülerine ilişkindir. Fakat temel mantık gösterilen yapıyla aynıdır.

yakındır ve yakın menzile uzanır, B noktası uzak menzile uzanır. Taranan genişlik bu iki nokta arasındadır. Taranan alan içindeki iki nokta arasındaki uzaklık radarın eğim menzili olarak adlandırılır. En alt noktadan taranan menzil içindeki herhangi bir noktaya olan uzaklık, toprak menzili olarak adlandırılır. Toprak menzili bilgisini, eğim bilgisine dönüştürmek için geliş açısı kullanılır (Rolt et. al, 1992).

2.4. YAR Görüntülerinin Yapısı

YAR görüntülerinin yapısı üç parçaya ayrılabilir: Mikro yapı veya noktasal gürültü, çözünürlük hücresiyle aynı büyüklükte veya ondan daha büyük rasgele parlaklık parçalarından meydana gelmektedir. Bunlar radar sisteminin doğal yapısından kaynaklanmaktadır, taranan manzaradan doğmamaktadır. Noktasal gürültü görüntünün okunabilirliğini azaltmaktadır fakat noktasal süzgeçleme metodlarıyla bu etki azaltılabilir.

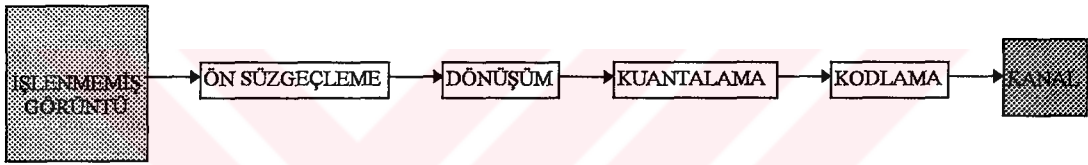
Orta yapı veya manzara yapısı hedeflerin geometrisi ve materyalden geri yansıyan dalgaların değişme miktarıdır. Örneğin, radara bakan ağaç yapraklarından geri yansıyan dalgalar resimde açık tonda, radara bakmayan ağacın diğer yüzündeki yapraklardan geri yansıyan dalgalar resimde koyu tonda etki bırakmaktadır. Bu yapı çeşitli çözünürlük hücrelerinin temel birimini kaplamakta ve görüntü yorumlarında çok önem kazanmaktadır. Orta yapı görüntünün temelini oluşturan taranan hedefteki geniş değişimleri içermektedir.

Makro yapı radar parlaklığındaki değişimle çeşitli objeleri, yolları, jeolojik oluşumları, alan sınırları, ormanlık alanları belirler. Bu bilgi birkaç çözünürlük hücresinden büyük yer kaplar. Aynı şekilde bu yapı görüntü analizinde önemlidir. Kenar ve örüntü algılama tekniklerinin kullanımında genellikle bu yapı incelenmektedir.

Sonunda görüntü; mikro, orta, makro yapının birleştirilmesi ve eşdağılımlı bölgeden yansıyan dalgaların ortalamasıyla karakterize edilen radyometrik parçanın eklenmesiyle oluşmaktadır.

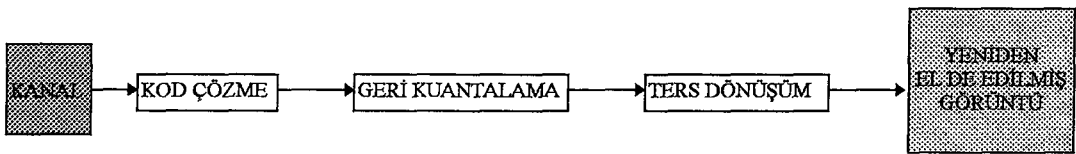
2.5. YAR Görüntü Sıkıştırma Modeli

Yapay açıklıklı radarların görüntü sıkıştırma modeline ilişkin yapı Şekil 2.4’de verilmiştir. İlk adımda YAR görüntülerinin yapısından kaynaklanan noktasal gürültülerin temizlenmesi amacıyla ön süzgeçleme yapılmaktadır. İkinci adımda kayıplı sıkıştırma teknikleri ön süzgeçlenmiş görüntüye uygulanmaktadır. Üçüncü adımda elde edilen dönüşüm katsayıları skaler kuantalamaktadır. Son adımda sıkıştırma performansını daha fazla arttırmak için kayıpsız sıkıştırma teknikleriyle kuantalanan dönüştürülmüş görüntü elemanları kodlanmaktadır.



Şekil 2.4. YAR Görüntüsünün Sıkıştırma Modeli

Görüntünün yeniden elde etmek için kullanılan blok şema Şekil 2.5’de verilmiştir. Buradanda görülebileceği gibi görüntüyü yeniden elde etmek için sıkıştırma adımlarının ters işlemleri; kod çözme, geri kuantalama, ters dönüşüm yapılır.



Şekil 2.5. YAR Görüntüsünün Yeniden Elde Edilm Modeli

2.6. YAR Görüntülerinin Ön Süzgeçlenmesi

YAR görüntüleri yapısı gereği gürültülüdür. YAR görüntülerindeki noktasal gürültüler %95 oranında rasgele dağılımlıdır. Bu nedenle Gauss gürültülerine benzer

özellik gösterirler. Bu noktasal gürültü maskelerinin detaylarını görüntü içinde gözle algılamak oldukça güçtür. Bazı uygulamalarda noktasal gürültüyü ortadan kaldırmak gerekebilir (Shi et. al, 1994, Nezry et. al, 1991). Bu amaçla noktasal gürültü azaltma teknikleri iki bölüme ayrılmıştır:

- çoklu bakma; işlenmemiş sinyal verilerine
- süzgeçleme; görüntü verilerine uygulanır.

Bu tez çalışmasında görüntü verileri ortalama değer ve sigma süzgeçlerinden geçirilmiştir. Ortalama değer süzgeci; hedef pikselin değerini seçilen komşu piksellerin oluşturduğu penceresinin ortalamasını alarak belirlemektedir. Sigma süzgecinin seçiciliğini hedef pikselin ($z_{i,j}$) etrafındaki küçük bölgenin ortalaması (μ) ve standart sapması (σ) aşağıdaki şekilde belirler:

$$mask_{k,j} = \begin{cases} 1 & (1-2\sigma)\mu \leq z_{k,j} \leq (1+2\sigma)\mu \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.2)$$

(i,j) koordinatları göstermek üzere pikselin yeni değeri

$$\hat{x}_{i,j} = \frac{\sum_k^n \sum_l^m mask_{k,j} z_{k,j}}{\sum_k^n \sum_l^m mask_{k,j}} \quad (2.3)$$

şeklinde elde edilir (Frost et. al, 1982).

III. KAYIPLI DÖNÜŞÜM TEKNİKLERİ

Görüntü sıkıştırmada uygulanan teknikler iki ana grupta toplanmıştır. İlk ana grubu oluşturan kayıplı sıkıştırma teknikleri de kendi içinde bir çok alt gruba ayrılmıştır. Biz burada sabit katsayılı dönüşüm tekniklerini ve alt band ayrışım tekniğini inceliyoruz. kayıplı sıkıştırma teknikleri sıkıştırma sonunda izin verilebilir sınırlar içinde bilgi kaybına neden olmaktadır (Sayood 1992). Sıkıştırma performansı kayıpsız sıkıştırma tekniklerine göre oldukça iyidir.

3.1. Sabit Katsayılı Dönüşümler

Bu bölümde sabit katsayılı dönüşüm tekniklerinin ortak özelliklerini inceleyip, bunun özel durumları olan Ayrık Kosinüs Dönüşümü, Ayrık Sinüs Dönüşümü ve Karhunen-Loeve Dönüşümünü özetliyeceğiz.

Bir boyutlu sinyal, taban fonksiyonlarının ortogonal serileriyle temsil edilebilir, benzer şekilde görüntüde taban dizilerinin ayrık setinin terimlerine genişletilebilir ve taban görüntü olarak isimlendirilir. Sürekli fonksiyonlar için ortogonal serilere açılımlardan elde edilen katsayı serileri bu fonksiyonların işlenmesinde veya analizinde kullanılır (Jain 1989, Pratt 1991).

Bir boyutlu bir dizi $\{u(n), 0 \leq n \leq N-1\}$ için $u, N \times 1$ boyutunda bir vektörü göstermek üzere üniter dönüşüm;

$$v = Au \quad v(k) = \sum_{n=0}^{N-1} a(k,n)u(n), \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada A matrisi üniterdir ($A^{-1} = A^*$). Ters dönüşümde;

$$u = A^{*T} v \quad u(n) = \sum_{k=0}^{N-1} v(k) a^*(k, n), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada A^{*T} kolonları $a_k^* = \{a^*(k, n), 0 \leq n \leq N-1\}^T$ olan, A matrisinin taban vektörleridir.

Görüntü işlemenin içeriğinde, $N \times N$ boyutlu $u(m, n)$ görüntüsü için genel ortogonal serilere açılımın dönüşüm çifti aşağıdaki formdadır:

$$v(k, l) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} u(m, n) a_{k,l}(m, n), \quad 0 \leq k, l \leq N-1 \quad (3.3)$$

$$u(m, n) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} v(k, l) a_{k,l}^*(m, n), \quad 0 \leq m, n \leq N-1 \quad (3.4)$$

Burada $\{a_{k,l}(m, n)\}$ görüntü dönüşümüdür, bu dönüşümün ortonormal ayırık taban fonksiyonları aşağıdaki özellikleri sağlayan bir set oluşturur.

$$\text{Ortogonallik:} \quad \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} a_{k,l}(m, n) a_{k',l'}^*(m, n) = \delta(k - k', l - l') \quad (3.5)$$

$$\text{Tamamlayıcılık:} \quad \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} a_{k,l}(m, n) a_{k,l}^*(m', n') = \delta(m - m', n - n') \quad (3.6)$$

Dönüşüm çiftinde $v(k, l)$ elemanları dönüştürülmüş görüntü elemanlarıdır, $V = \{v(k, l)\}$ dönüştürülmüş görüntüdür.

Dönüştürülmüş görüntü elemanlarını $(v(k, l))$ hesaplamak için (3.3) denklemi kullanıldığında $O(N^4)$ toplama ve çarpma işlemine gerek vardır. Bu işlemler pratik boyutlu görüntüler için oldukça fazladır. Dönüşümün ayrılabilir olması koşulu altında problemin boyutu $O(N^3)$ işleme düşürebilir.

Öyle ki;

$$a_{k,l}(m,n) = a_k(m)b_l(n) = a(k,m)b(l,n) \quad (3.7)$$

olmalıdır. Burada $\{a_k(m) \quad k=0,\dots,N-1\}$, $\{b_l(n) \quad l=0,\dots,N-1\}$ taban vektörlerinin bir boyutlu tamamlanmış ortonormal setleridir. (3.5) ve (3.6) denklemleriyle verilen özellikler gösterir ki $A=\{a(k,m)\}$ ve $B=\{b(l,n)\}$ üniter matrisler olmak zorundadır.

$$AA^* = A^T A^* = I \quad (3.8)$$

Genellikle B matrisi A matrisinin aynısı seçilerek (3.3) ve (3.4) denklemleri aşağıda ki şekle indirgenir:

$$v(k,l) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} a(k,m)u(m,n)a(l,n) \quad V = AUA^T \quad (3.9)$$

$$u(m,n) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} a^*(k,m)v(k,l)a^*(l,n) \quad U = A^*{}^T VA^* \quad (3.10)$$

Bu dönüşüm çifti, iki boyutlu ayrık dönüşüm olarak isimlendirilir.

3.1.1. Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD)

Ayrık Kosinüs Dönüşümü çift fonksiyonların Fourier serisine açılımından esinlenerek ortaya konmuş, reel değerli bir dönüşümdür. Burada $C=\{c(k,n)\}$, $N \times N$ boyutlu ayrık kosinüs dönüşüm matrisidir ve dönüşüm katsayıları ;

$$c(k,n) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} & k=0, 0 \leq n \leq N-1 \\ \frac{2}{\sqrt{N}} \cos \frac{\pi(2n+1)k}{2N} & 1 \leq k \leq N-1, 0 \leq n \leq N-1 \end{cases} \quad (3.11)$$

şeklinde tanımlıdır.

Bir boyutlu bir dizinin $\{u(n), 0 \leq n \leq N-1\}$ ayrık kosinüs dönüşümü şu şekilde tanımlanır:

$$v(k) = \alpha(k) \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cos \left[\frac{\pi(2n+1)k}{2N} \right], \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (3.12)$$

Burada

$$\alpha(0) = \sqrt{\frac{1}{N}}, \quad \alpha(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \quad 1 \leq k \leq N-1 \quad (3.13)$$

değerlerini almaktadır. Ters dönüşüm ise;

$$u(n) = \sum_{k=0}^{N-1} \alpha(k) v(k) \cos \left[\frac{\pi(2n+1)k}{2N} \right], \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanır. Benzer olarak iki boyutlu dönüşüm çifti ayrık kosinüs dönüşüm matrisinin özelliklerinden yararlanılarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V = CUC^T \quad U = C^TVC \quad (3.15)$$

Ayrık kosinüs dönüşümünün temel özellikleri şöyledir;

- Kosinüs dönüşümü reel ve ortogonaldır, öyle ki $C=C^*$, $C^{-1}=C^T$ sağlanır.
- Kosinüs dönüşümü üniter ayrık Fourier dönüşümünün reel kısmı değildir. Buna rağmen bir dizinin kosinüs dönüşümü o dizinin simetrik uzatımının ayrık Fourier dönüşümüyle ilişkilidir.

- Kosinüs dönüşümü hızlı bir dönüşümdür. N elemanlı bir vektörün kosinüs dönüşümü $O(N \log_2 N)$ işlem sonunda hesaplanır.
- Kosinüs dönüşümü yüksek ilişkili veriler için mükemmel enerji sıkıştırması sağlar.

3.1.2. Ayrık Sinüs Dönüşümü (ASD)

Ayrık Sinüs Dönüşümü tek fonksiyonların Fourier serisine açılımından esinlenerek ortaya konmuş, reel değerli bir dönüşümdür. Burada $S = \{s(k, n)\}$, $N \times N$ boyutlu ayrı sinüs dönüşüm matrisidir ve dönüşüm katsayıları;

$$s(k, n) = \sqrt{\frac{2}{N+1}} \sin \frac{\pi(k+1)(n+1)}{N+1}, \quad 0 \leq k, n \leq N-1 \quad (3.16)$$

şeklinde tanımlıdır.

Bir boyutlu bir dizinin $\{u(n), 0 \leq n \leq N-1\}$ ayrık sinüs dönüşüm çifti aşağıda tanımlıdır:

$$v(k) = \sqrt{\frac{2}{N+1}} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \sin \frac{\pi(k+1)(n+1)}{N+1}, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (3.17)$$

$$u(n) = \sqrt{\frac{2}{N+1}} \sum_{k=0}^{N-1} v(k) \sin \frac{\pi(k+1)(n+1)}{N+1}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (3.18)$$

Benzer olarak iki boyutlu dönüşüm çifti, ayrık sinüs dönüşüm matrisinin özelliklerinden yararlanılarak

$$V = SUS \quad U = SVS \quad (3.19)$$

şeklinde tanımlanır.

Ayrık sinüs dönüşümünün temel özellikleri şöyledir;

- Sinüs dönüşümü reel, simetrik ve ortogonaldır. Öyle ki $S^* = S = S^T = S^{-1}$ sağlanır.
- Sinüs dönüşümü üniter ayrık Fourier dönüşümünün sanal kısmı değildir. Bir dizinin sinüs dönüşümü o dizinin antisimetrik uzatımının ayrık Fourier dönüşümüyle ilişkilidir.
- Sinüs dönüşümü de hızlı bir dönüşümdür. N elemanlı bir vektörün sinüs dönüşümü $O(N \log_2 N)$ işlem sonunda hesaplanır.

3.1.3. Karhunen Loeve Dönüşümü (KLD)

KL dönüşümü Karhunen ve Loeve tarafından rasgele süreçlerin seriye açılımı için ortaya konmuştur. $N \times 1$ boyutlu reel rasgele vektör u için ortonormalize özvektörler ve özilişki matrisi arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$R\phi_k = \lambda_k \phi_k, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (3.20)$$

burada ϕ_k , özilişki matrisinin (R) k . özdeğerine (λ_k) karşı gelen k . özvektördür. u vektörünün KL dönüşümü;

$$v = \Phi^* u \quad (3.21)$$

ve ters dönüşümü;

$$u = \Phi v = \sum_{k=0}^{N-1} v(k) \phi_k \quad (3.22)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada ϕ_k Φ matrisinin k . sütunudur ($\Phi=[\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{N-1}]$).

Eğer $u(m, n)$, $N \times N$ boyutlu rasgele alanı temsil ederse ona ilişkin özilişki fonksiyonu aşağıdaki denklemlerle verilir:

$$E[u(m, n)u(m', n')] = r(m, n; m', n'), \quad 0 \leq m, m', n, n' \leq N-1 \quad (3.23)$$

Matris notasyonunda (3.20) denklemini yazarsak;

$$\Re \psi_i = \lambda_i \psi_i \quad i = 0, \dots, N^2 - 1 \quad (3.24)$$

elde edilir. Burada ψ_i , $\psi_{k,l}(m, n)$ ortonormalize özfunksiyonlarının $N^2 \times 1$ boyutlu vektör gösterilimidir, $\Re$, $N^2 \times 1$ boyutlu u vektörünün $N^2 \times N^2$ boyutlu özilişki matrisidir;

$$\Re = E[uu^T] \quad (3.25)$$

ve yukarıdaki formda verilir.

Eğer $\Re$ matrisi ayırık ve $\{\psi_i\}$, $N^2 \times N^2$ boyutlu Ψ matrisinin ayrılabilir sütunlarıysa;

$$r(m, n; m', n') = r_1(m, m') r_2(n, n') \quad (3.26)$$

$$\psi_{k,l}(m, n) = \phi_1(m, k) \phi_2(n, l) \quad (3.27)$$

yazılabilir. Bunun matris gösterilimindeki anlamı;

$$\Re = R_1 \otimes R_2, \quad \Psi = \Phi_1 \otimes \Phi_2 \quad (3.28)$$

olur. Burada $\otimes$ operatörü, iki matrisin Kronocker çarpımını gerçekleştirmektedir. u vektörünün Karhunen Loeve dönüşümü;

$$v = \Psi^* u = [\Phi_1^* \otimes \Phi_2^*] u \quad (3.29)$$

olarak tanımlanır. Düşük derceden vektörler için dönüşümün eşdeğeri;

$$V = \Phi_1^* U \Phi_2^* \quad (3.30)$$

ve ters dönüşüm;

$$U = \Phi_1 V \Phi_2^T \quad (3.31)$$

tanımlanabilir.

Görüntü özilişki fonksiyonunun ayrık iki fonksiyonla ifade edilmesinin avantajı; (3.24) denklemindeki $N^2 \times N^2$ boyutlu matrisin özdeğer probleminin çözümünü, $N \times N$ boyutlu iki matrisin özdeğer problemine dönüştürmesidir. Bir $N^2 \times N^2$ boyutlu matrisin özdeğer probleminin çözümü için $O(N^6)$ hesaplama gerekirken, $N \times N$ boyutlu iki matrisin özdeğer probleminin çözümü için $O(N^3)$ hesaplama gereklidir. Buradan da anlaşılacağı gibi işlem yükü büyük oranda azalmaktadır.

3.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) Yardımıyla

Alt Band Ayırışımı

Sıkıştırma amacıyla sabit dönüşüm tekniklerinden farklı olarak alt band ayırışımına dayalı teknikler yaygın olarak kullanılır. Alt band ayırışımında işaret alt bandlara ayrılmakta, alt bandlardan -işaretin yeniden elde edilmesi için- yeterli enerjiyi tutanlar alt band birleşim işlemde kullanılmaktadır. Burada Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) alt band ayırışım ve birleşim süzgeçlerinin katsayılarının hesaplanmasında kullanılır (Antonini et. al, 1992).

3.2.1. Ara Değer Azaltma ve Artırma

Tipik olarak band sınırlı analog işaretler Nyquist frekansında ($f_s \geq 2W$) örneklenirler. Bu sinyallerin örnekleme frekanslarının artırılmasına veya azaltılmasına ara değer azaltma veya ara değer artırma adı verilir (Oppenheim et. al, 1994).

Ara değer azaltma; giriş işaretinin örnekleme değerinin bir M katsayısıyla azaltılmasıdır. Bu işlem tam bantlı bir işaretin bozulmayı önleyecek alçak geçiren süzgeçten geçirildikten sonra bir aşağı örnekleleyiciyle örneklenmesidir. Burada kullanılan süzgeçler ara değer azaltma süzgeçleri olarak adlandırılır. Şekil 3.1’de ara değer azaltma işleminin blok yapısı ve bir işaret üzerindeki uygulaması görülmektedir (Dündar, 1995

Şekilde $y(n)$ çıkış işareti, $x(n)$ giriş işaretinin sıkıştırılmış halini göstermektedir. $y(n)$ işareti, $x(n)$ işaretinin M katlarında bulunan örnekleri içerir. Buradan anlaşılacağı gibi M faktörü sıkıştırma katsayısını oluşturur.

$$x'(n) = \begin{cases} x(n) & n = 0, \pm M, \pm 2M, \dots \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.32)$$

$$y(n) = x'(Mn) = x(Mn) \quad (3.33)$$

Ara sinyal $x'(n)$, aynı örnekleme değerindeki $x(n)$ ile örnekleme fonksiyonunun (periyodik dürtü dizisi) çarpılmasıyla elde edilir:

$$x'(n) = i(n)x(n) = \left[\sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta(n - rM) \right] x(n) \quad (3.34)$$

Bu denklemdeki $i(n)$ periyodik dizisi ayrık Fourier serisine açılarak

$$i(n) = \sum_r \delta(n - rM) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} e^{j\frac{2\pi}{M}nk} \quad (3.35)$$

bulunur. Bu ifade (3.34) eşitliğinde yerine konulduğunda

$$x'(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x(n) e^{j\frac{2\pi}{M}nk} \quad (3.36)$$

elde edilir. Bu $x'(n)$ işaretine ait Z dönüşümü basit olarak

$$X'(z) = \frac{1}{M} \sum_k Z \left\{ x(n) \left(e^{j\frac{2\pi}{M}k} \right)^n \right\} = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X \left(z e^{-j\frac{2\pi}{M}k} \right) \quad (3.37)$$

şeklinde yazılabilir ve bu eşitlikte $W = e^{-j2\pi/M}$ kullanılarak

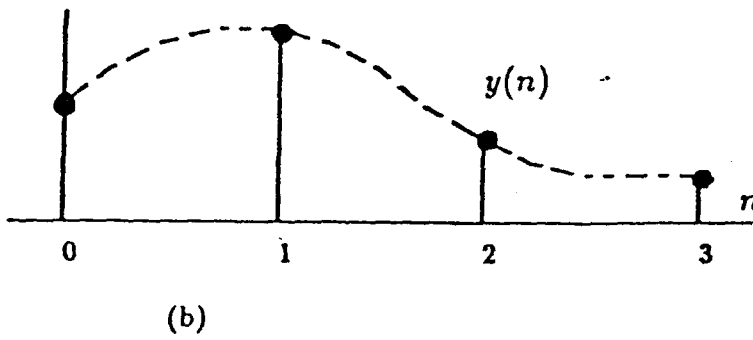
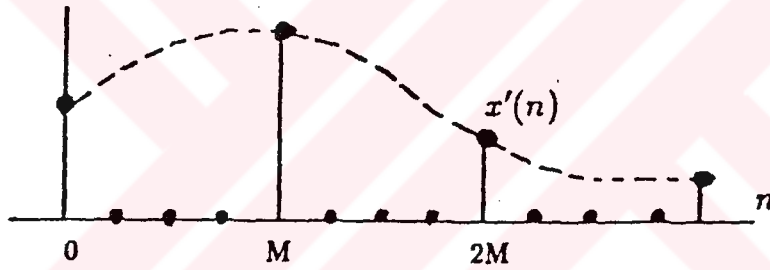
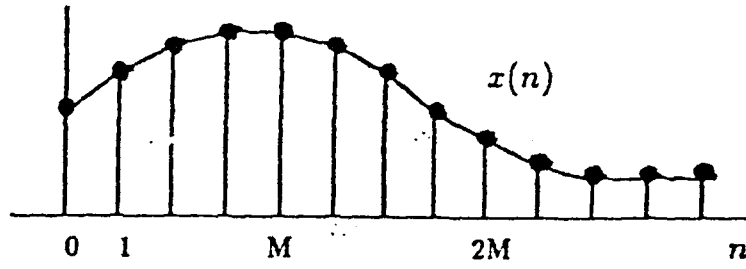
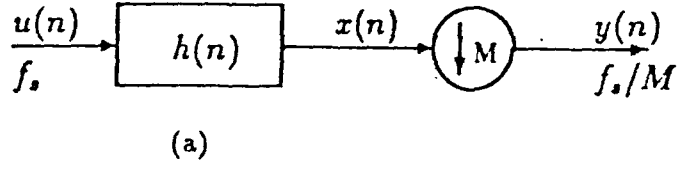
$$X'(z) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(zW^k) \quad (3.38)$$

elde edilir. Böylece birim daire üzerindeki frekans cevabı, $z=e^{j\omega}$ (3.37) denkleminde yerine konarak

$$X'(e^{j\omega}) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X \left(e^{j\left(\omega - \frac{2\pi k}{M}\right)} \right) \quad (3.39)$$

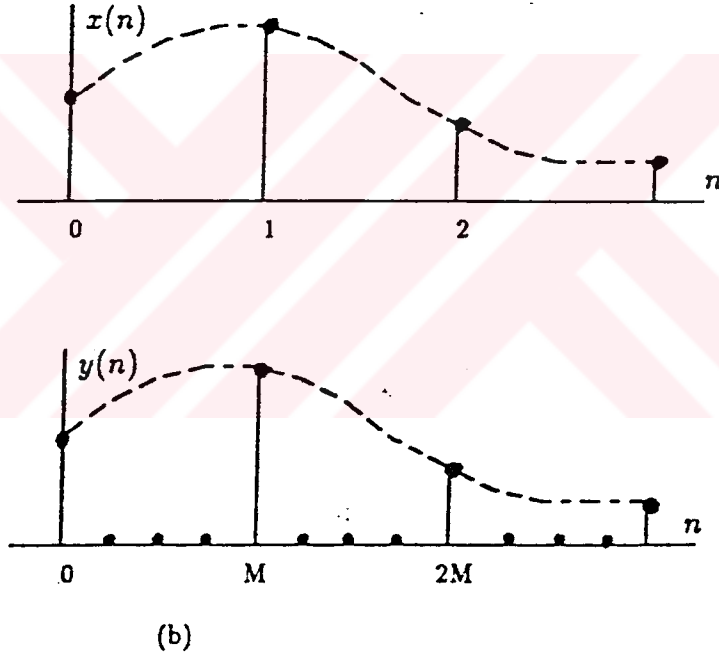
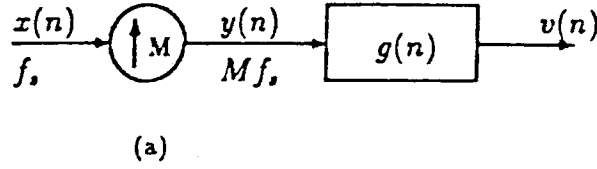
şeklinde bulunur.

Böylece frekans domeninde bir sıkıştırma oluşturulmuştur. Bu nedenle $[0-\pi/M]$ aralığı $[0-\pi]$ aralığını kapsar. Buradan da görüleceği gibi bazı örneklerin atılması işlemi, bir bilgi kaybına neden olacaktır. Frekans domeninde bozulma oluşmasının nedeni de bu bilgi kaybıdır. İlk terim $X(e^{j\omega})$ işaretinin M katsayısıyla sıkıştırılmış şeklidir. Kalan terim ise düzgün olarak birinci terimin kaydırılmış şeklidir.



Şekil 3.1. Ara değer azaltma işlemi blok yapısı ve uygulaması

Ara değer artırma işlemi; giriş işaretinin örnekleme değerinin bir M katsayısıyla arttırılma işlemidir. Bu işlem bir yukarı örnekleyci ve bir alçak geçiren süzgeç yardımıyla yerine getirilir. Ara değer artırma işlemine ilişkin blok yapı ve bir işaret üzerinde uygulaması Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Ara değer artırma işlemi blok yapısı ve uygulaması

Bu yapıdan $y(n)$ aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$y(n) = \begin{cases} x(n/M) & n = 0, \pm M, \pm 2M, \dots \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.40)$$

Bu işlem ile (M-1) sıfır giriş işaretinin örneklerine ilave edilir. M katsayısı ve katları ile örnekleme hızı artırılır. Yukarı örnekleme işlemi ile iki işlev yerine getirilir. İlk olarak zamanda sıkıştırma ile frekans domeninde bir sıkıştırma oluşturulur. Sonra oluşturulan ara değerli işarete sıfır ilavesiyle yüksek frekanslı işaret elde edilir. İşlemin matematiksel biçimi aşağıda verilmiştir.

$$Y(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n)z^{-n} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X\left(\frac{n}{M}\right)z^{-n} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(k)(z^M)^{-k} \quad (3.41)$$

$$Y(z) = X(z^M) \quad Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega M}) \quad (3.42)$$

Sıfır ilavesi ile oluşan yan etkilerin giderilmesi için $y(n)$ işareti alçak geçiren bir ara değer artırma süzgecinden geçirilir.

3.2.2. Alt Band Ayırışım Süzgeçlerinin Özellikleri

Alt band ayırışımı, alt band ayırışım ve alt band birleşim süzgeçleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.3'de analiz adımında görülen alt band ayırışım süzgeçleri ($h_0(n)$, $h_1(n)$) ve sentez adımında görülen alt band birleşim süzgeçleri ($g_0(n)$, $g_1(n)$) işaretin yeniden katıpsız elde edilebilmesi için aşağıdaki özellikleri sağlamak zorundadır. Bir başka deyişle bu süzgeçler yarım bandlı, ayna yapılı ve güç tamamlayıcı olmalıdır.

3.2.2.1. Çok Bandlı Süzgeçler

Bir yarım bandlı sonlu dürtü cevaplı süzgeçin frekans cevabı aşağıdaki özelliklere sahiptir:

$$\begin{aligned} H(e^{j\omega}) &= H(e^{-j\omega}) \\ H(e^{j\omega}) + H(e^{j(\pi-\omega)}) &= H(1) = 1 \end{aligned} \quad (3.43)$$

$H(e^{j\omega})$ reel ve ω 'nın çift fonksiyonudur. $[\pi/2, H(1)/2]$ civarında tek simetriktr. İlk özelliğin bir gereği olarak;

$$h(n) = h(-n) \quad (3.44)$$

reel ve çift bir dizidir. Buradan

$$\begin{aligned} H(e^{j\omega}) &\leftrightarrow h(n) = h(-n) \\ H(e^{j(\pi-\omega)}) &\leftrightarrow (-1)^n h(n) \end{aligned} \quad (3.45)$$

elde edilir. İkinci özelliğin gereği olarak;

$$h(n) + (-1)^n h(n) = [1 + (-1)^n] h(n) = \delta(n) \quad (3.46)$$

elde edilir. $h(n)$ 'in çözümü;

$$h(n) = \begin{cases} 1/2 & n = 0 \\ 0 & n \text{ çift} \end{cases} \quad (3.47)$$

olur.

3.2.2.2. Ayna Süzgeçler

$h_0(n)$ reel katsayılı, sonlu dürtü cevaplı, alçak geçiren bir süzgeç olsun. Bu süzgeçin ayna süzgeci;

$$h_1(n) = (-1)^n h_0(n) \quad (3.48)$$

veya dönüşüm domeni eşdeğeri;

$$\begin{aligned} H_1(z) &= H_0(z) \\ H_1(e^{j\omega}) &= H_0(e^{j(\pi-\omega)}) \end{aligned} \quad (3.49)$$

olarak tanımlıdır. Genlik değerleri ω 'nın çift fonksiyonu olduğundan

$$\left| H_1\left(e^{j\left(\frac{\pi}{2}-\omega\right)}\right) \right| = \left| H_0\left(e^{j\left(\frac{\pi}{2}-\omega\right)}\right) \right| \quad (3.50)$$

elde edilir. Bu eşitlik $\omega=\pi/2$ civarında H_0 ve H_1 süzgeçlerinin ayna özelliğini gösterir.

3.2.2.3. Güç Tamamlayıcı Süzgeçler

$\{H_0(z), H_1(z)\}$ süzgeç çiftinin güç tamalayıcı olduğu söylenirse aşağıdaki özelliği sağlaması gerekir:

$$\left| H_0(e^{j\omega}) \right|^2 + \left| H_1(e^{j\omega}) \right|^2 = 1 \quad (3.51)$$

Bu özellik çok bandlı süzgeçler için;

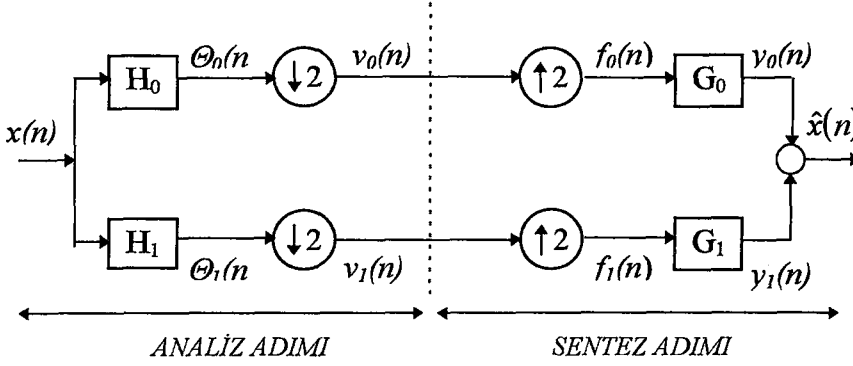
$$\sum_{k=0}^{M-1} \left| H_k(e^{j\omega}) \right|^2 = 1 \quad (3.52)$$

şeklinde yeniden yazılabilir.

3.2.3. İki Kanallı Dörtgen Ayna Süzgeç Takımı

Dörtgen Ayna Süzgeç (DAS) takımı çok oranlı sayısal süzgeç takımıdır. Sistem boyunca örnekleme hızı sabit değildir. Sistemde ara değer artırıcı ve azaltıcılar vardır. Ara değer azaltıcılar giriş işaretini aşağı örnekleme, ara değer artırıcılar aşağı örneklenmiş

işareti yukarı örnekleme işlemine tabi tutarlar. İki kanallı DAS takımı Şekil 3.3 de gösterilmiştir (Akansu et. al, 1992).



Şekil 3.3. İki kanallı alt band ayrışım yapısı

Şekilde görülen kollardaki işaretleri izlersek;

$$\Theta_0(z) = H_0(z)X(z) \quad (3.53)$$

$$Y_0(z) = G_0(z)F_0(z) \quad (3.54)$$

ara değer azaltma ve artırma süzgeçlerinin çıkışları, aşağı ve yukarı örnekleycinin çıkışları sırasıyla;

$$V_0(z) = \frac{1}{2} \left[\Theta_0\left(z^{1/2}\right) + \Theta_0\left(z^{1/2}\right) \right] \quad (3.55)$$

$$F_0(z) = V_0(z^2) \quad (3.56)$$

olur. $y_0(n)$ ve $y_1(n)$ işaretlerinin Z dönüşümleri;

$$Y_0(z) = \frac{1}{2} G_0(z) [H_0(z)X(z) + H_0(-z)X(-z)] \quad (3.57)$$

$$Y_1(z) = \frac{1}{2} G_1(z) [H_1(z)X(z) + H_1(-z)X(-z)] \quad (3.58)$$

şeklindedir.

Yeniden elde edilen işaretin Z dönüşümü;

$$\hat{X}(z) = \frac{1}{2} [H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z)] X(z) \quad (3.59)$$

$$+ \frac{1}{2} [H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z)] X(-z)$$

$$\hat{X}(z) = T(z) X(z) + S(z) X(-z) \quad (3.60)$$

olur. İşaretin yeniden kayıpsız elde edilebilmesi için;

- $S(z) = 0$ bütün z değerlerinde
- $T(z) = cz^{-n_0}$, burada c sabit

olması gereklidir. Örtüşmeyi engellemek için;

$$\frac{G_0(z)}{G_1(z)} = -\frac{H_1(-z)}{H_0(-z)} \quad (3.61)$$

gereklidir. Buradan

$$\begin{aligned} G_0(z) &= -H_1(-z) \\ G_1(z) &= H_0(-z) \end{aligned} \quad (3.62)$$

seçilerek

$$T(z) = \frac{1}{2} [H_0(-z)H_1(z) - H_0(z)H_1(-z)] \quad (3.63)$$

şeklinde bulunur. N çift ve $H_0(z)$, $H_1(z)$; N ağırlıklı sonlu dürtü cevaplı süzgeçler olmak koşuluyla;

$$H_1(z) = z^{-(N-1)} H_0(-z^{-1}) \quad (3.64)$$

$$H_1(-z) = -G_0(z) \quad (3.65)$$

şeklinde belirlenir. Bu değerlerin transfer fonksiyonunda yerine konmasıyla;

$$T(z) = \frac{1}{2} z^{-(N-1)} [H_0(z) H_0(z^{-1}) + H_0(-z) H_0(-z^{-1})] \quad (3.66)$$

bulunur. $H_0(z)$ ve $H_1(z)$ lineer faz özelliğine sahiptir. Bu nedenle sistemde fazdan dolayı bozulma oluşmaz. Ancak genlikten dolayı oluşan bozulmayı yok etmek için transfer fonksiyonu her z için $z=1$ olmalıdır. Bu şekilde işaretin tekrar oluşumu mükemmel şekilde yerine getirilir.

Kuramsal olarak bulunan bu değerlerin pratikte uygulamasının yapılması çok zordur. Pratikte tasarlanan süzgeçlerin genlik bozulmasına göre toleranslı şekilde oluşturulur. Ayrıca süzgeçler tasarlanırken bazı optimizasyon metodları kullanılır. Süzgeç katsayıları mutlaka çift olmalıdır. N uzunluğu olan lineer fazlı analiz ve sentez süzgeçleri kullanıldığında transfer fonksiyonu;

$$T(e^{j\omega}) = [|H_1(e^{j\omega})|^2 - (-1)^{(N-1)} |H_2(e^{j\omega})|^2] e^{-j\omega(N-1)} \quad (3.67)$$

elde edilir. Eğer N tek olursa frekans cevabı $\omega=\pi/2$ için sıfır çıkacaktır.

Bu bölümde anlattıklarımızı kısaca özetliyeim. Analiz adımında; tek boyutlu bir işaret alt band ayrışım süzgeçleri ve aşağı örnekleyici kullanılarak alt bandlara ayrılmaktadır. Sentez adımında; bu alt bandlar yukarı örnekleyici ve alt band birleşim süzgeçleri kullanılarak işaret yeniden kayıpsız elde edilmektedir.

3.2.4. Alt Band Ayrışımının İki Boyutlu İşaretlere Uygulanması

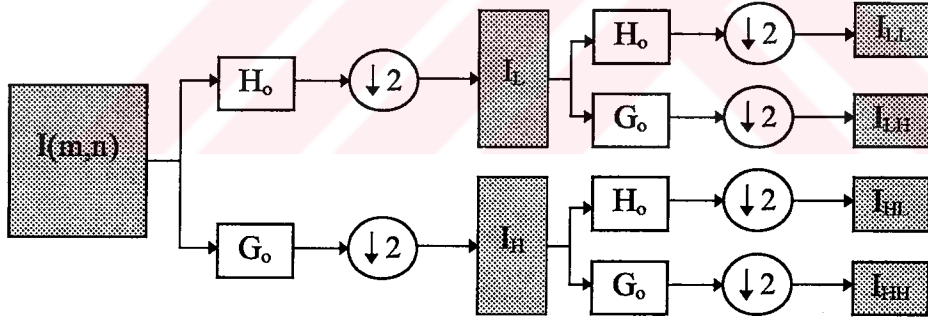
Alt band ayrışımı işlemini görüntüye uygulamak için tek boyutta yaptığımız işlemleri iki boyuta adapte etmemiz gerekir. Dolayısıyla görüntülerin alt band ayrışımı iki boyutlu DAS' lar kullanılarak yapılmalıdır. Pratikte iki boyutlu süzgeçleri tasarlamak oldukça güçtür. Burada satır sütun ayrıştırma yönteminde kullanılan bir boyutlu süzgeçler iki boyutlu DAS' ların tüm işlevini yerine getirir. Ayrılabilirlik özelliği kullanılarak iki boyutlu DAS yerine bir boyutlu DAS kullanılır (Ranchin et.al, 1993).

$$h_{11}(m,n) = h_1(m)h_1(n) \quad (3.68)$$

$$h_1(n) = (-1)^{N+1} h_0(N-1-n) \quad (3.69)$$

$$g_0(n) = h_1(N-1-n) \quad (3.70)$$

$$g_1(n) = (-1)^n h_0(n) \quad (3.71)$$



Şekil 3.4. Görüntü alt band ayrışımı analiz adımı

Bir boyutlu DAS' lar önce iki boyutlu işaretin yani görüntünün bir boyutuna uygulanır. Sonra diğer boyutuna uygulanıp alt bandlar elde edilir. Görüntüye satır sütun ayrıştırma yöntemi uygulandığında önce görüntü satırlar boyunca süzgeçlenip aşağı örnekleme işlemine tabi tutulur. Daha sonra aynı işlem tekrarlanarak görüntünün sütunları boyunca uygulanır. Anlatılanlara ilişkin yapı Şekil 3.4 de görülmektedir. Şekilde görülebileceği gibi dört alt bandlı işaret elde edilir. Eğer dört alt banddan daha fazla alt band istenirse DAS yapısı bu dört alt banda tekrar uygulanır. Her bir bandında dört alt

bandı oluşturulur. Sonuçta işaret onaltı alt banda ayrılır. Görüntüyü yeniden elde etmek için anlatılan analiz adımında yapılan işlemlerin tersi enerjileri %10'dan az olmayan alt bandlara sentez adımında uygulanır.



IV. KAYIPSIZ SIKIŞTIRMA TEKNİKLERİ

Görüntü sıkıştırma uygulanan tekniklerin ikinci ana grubunu kayıpsız sıkıştırma teknikleri oluşturur. Bu teknikler görüntüyü bit bazında sıkıştıran dolayısıyla kodlama yapan tekniklerdir. Görüntünün manzarası, görüntüyü meydana getiren nesneler sıkıştırma performansını etkilemez. Sıkıştırma performansları kayıplı sıkıştırma teknikleri kadar iyi değildir.

Görüntü üzerindeki her farklı ton için farklı bir kod atanmalıdır. Atadığımız kodlardan oluşan kod dizisi alıcı tarafta incelendiğinde, asıl mesajın anlaşılabilir olması gerekir. Bu bağlamda her ton için farklı kod vermek yeter değil gerek koşuldur. Esas önemli olan kodların kendi içinde tek olmalarıdır. Kullanılabilecek en basit kodlama yöntemi her tona aynı uzunlukta kod atamaktır. Seçilecek kod uzunluğu basitçe $\log_2 N$ ile bulunabilir. Burada N kaç adet değişik mesaj veya ton bulunduğunu belirtmektedir.

Seçilen görüntü elemanları 256 farklı gri tondan oluştuğunu kabul edersek. 256 gri tonu sekiz bit uzunluğunda kodlar kullanılarak kodlanabilir. Bu kod sözcükleri için bir üst sınırdır. Sıkıştırma için ortalama bit sayısının daha düşük olması gerekir. Bunun için her elemana standart uzunlukta kod atamak yerine değişken uzunlukta kod atama önerilmiştir. Yine gözetilmesi gereken en önemli koşul alıcı tarafta kodun aynen çözülebilmesidir. Daha çok kullanılan elemanlara daha az bit, daha az kullanılan elemanlara daha çok bit ayırarak kodlama işlemi yaparsak ortalama bit oranını düşürebiliriz. Kodlamayı yaparken elemanların dağılımları göz önüne alındığından bu entropi ya da kaynak kodlaması olacaktır.

Bir kaynağın entropisi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$H(m) = \sum_{i=1}^M p(x_i) x_i \quad (4.1)$$

Entropisi $H(m)$ olan D tabanlı bir kodun optimum kod uzunluğu, $\hat{n}$,

$$\frac{H(m)}{\log D} \leq \hat{n} < \frac{H(m)}{\log D} + 1 \quad (4.2)$$

sınırları arasında değer alır. Değişik uzunluktaki kodların üretilmesi ve çözülmesi, standart uzunluktaki kodlara göre çok daha zordur. Entropi kodlamasına en temel örnek Huffman kodlaması gösterilebilir (Dutkiewicz et. al, 1994, Benz et. al, 1995).

4.1. Huffman Kodlaması

Huffman yöntemiyle kod üretmek için ilk önce görüntü üzerindeki farklı elemanlara ve her birinin $p(.)$ olasılıklarına ihtiyaç vardır. Farklı elemanlar ve olasılıkları (tekrarlanma sayıları) Huffman ağacının yapraklarını oluşturmak için birer düğüme yerleştirilirler. Bütün düğümler taranarak tekrarlanma sayısı en düşük (olasılığı en küçük) iki eleman boş bir düğüme bağlanır. Yeni düğümün tekrarlanma sayısı sağ ve sol yaprakların tekrarlanma sayıları toplamı kadar olur. Düşük olasılıklı, ana düğümü olmayan düğümlerin taranması ve yeni düğümlerin oluşturulması işlemi, en son düğüm olasılığı bir olana veya tekrarlanma sayısı toplam eleman sayısına eşit oluncaya kadar devam eder. oluşturulan ağacın dalları “0” ve “1” olarak düşünülün. Kodlama sırasında kodlanacak verinin köke doğru izlediği “0”, “1” yolu eleman için üretilecek değişken uzunluktaki kod olacaktır. Kodlanacak elemanların kod karşılığı oluşturulan Huffman ağacında yinelemeli olarak taranır ve peş peşe saklanır. Alıcı tarafta kökten bir yaprak buluncaya kadar Huffman ağacını tarar ve bulduğu yaprak üzerindeki kodu görüntü elemanı olarak saklar.

Görüntü elemanı 2^m tane farklı değer aldığı zaman oluşturulacak Huffman ağacının, minimum ve maksimum derinlik değerleri şu şekilde olacaktır; en iyi durumda ağaç dengeli bir ağaç olur. Ağaç üzerinde m adet yaprak olduğunu varsayarsak, ağaç üzerindeki derinlik $\log_2 2^m$ olacaktır. m düşük olursa dengeli bir dağılımla sıkıştırmanın

oranı çok artabilir. Fakat görüntü bütün değer kümesini kapsıyorsa (2^n farklı ton varsa) ve bunlar dengeli dağılmışsa, oluşacak yeni kodlar gene n bit veya yakını bir değer ile ifade edilecektir. Yani sıkıştırma oranı düşük olacaktır. En kötü durumda ise, her farklı değer derinliği bir arttıracaktır. Yani 2^n farklı eleman için 2^n-1 derinliğinde bir ağaç oluşacaktır. Bu durumda ise ilk $n-1$ elemanın yoğunluk fonksiyonları büyük ise sıkıştırma oranı büyük olacaktır.

4.2. Öngörü Kodlaması

Daha önceki elemanlara dayanarak öngörülen görüntü elemanı $x(i,j)$ olsun. Bu elemanı hesaplamak için kullanılabilecek yöntem, $x(i,j)$ 'nin bir komşuluğundaki $x(i-1,j)$, $x(i,j-1)$, $x(i-1,j-1)$ elemanlarını k_i , $i=1,2,3$ katsayıları ile çarparak oluşturmaktadır. Bu (4.3) eşitliğinde ortaya konmuştur. Katsayıların hesabı görüntü kovaryans fonksiyonuna dayalıdır.

$$x^*(i,j) = k_1 x(i-1,j) + k_2 x(i,j-1) + k_3 x(i-1,j-1) \quad (4.3)$$

Hata terimi

$$e(i,j) = x(i,j) - x^*(i,j) \quad (4.4)$$

denklemlerle elde edilir. Kodlama, bulunan hata terimleri üzerinden yapılarak daha yüksek oranda sıkıştırma sağlanabilir. $e(i,j)$ terimlerinin sıfır ortalamalı bir dağılımı bulunur. $\mu(0)$ çevresinde yoğunlaşan elemanların olasılık fonksiyonları

$$P(e_0) \geq P(e_{+1}) \geq P(e_{-1}) \geq \dots \geq P(e_{2n-1}) \quad (4.5)$$

sırasındadır.

Hata terimlerinin varyansı aslma göre daha düşüktür. Bu terimler entropi özelliğine göre daha az bitle ifade edilebilir. Burada karşımıza çıkacak tek problem, kodlamamız gereken eleman sayısı yaklaşık iki katına çıkacaktır. Yani daha fazla elemana kod üretmek zorunda kalırız. Fakat sıfır çevresindeki dağılım çok yoğun olduğu için bu dezavantaj ortadan kalkar.

Her farklı görüntü için aynı öngörü formülü aynı düzeyde başarılı sağlamayabilir. Yatay çizgilerin bulunduğu bir görüntü üzerinde öngörü yöntemi başarılı olurken, dikey çizgilerin daha sık olduğu bir görüntü üzerinde öngörü yöntemi daha başarılı olmaktadır. Öngörülü kodlamada kullanılan yöntemle göre ağaç boyu aslından daha büyük olabileceği gibi, daha da küçük çıkabilir.

4.3. Koşu Uzunluğu Kodlaması

Birbirini izleyen aynı değerdeki görüntü elemanı kümesi bir koşu oluşturur. Eğer çok uzun koşular varsa gri tonu ve koşu uzunluğunu kodlamakla bir sıkıştırma sağlanabilir. Örneğin “100 100 100 100 100 100 100 50 50 50 50 50” dizisini (100,7) (50,5) şeklinde ifade edebiliriz. 12 görüntü elemanını iki çiftliyle göstermiş olduk. Bu yöntemin verimi görüntü üzerindeki koşulara bağlıdır. Bu yüzden ikili (siyah-beyaz) resimler için daha uygun bir yöntemdir. İkili resimlerde görüntü elemanının değerini bile göndermeye gerek yoktur, sadece uzunluğun gönderilmesi yeterlidir. “000000000011111000000000” şeklindeki bit dizisi (10,5,8) uzunlukları gönderilerek sıkıştırılır.

Bu yöntem gri tonlamalı görüntülerde bit sayfalarına ayrılarak uygulanabilir. Her sayfa kendi koşu uzunluğu koduyla kodlanır. Burada önemli olan, her bit sayfasında uzun koşuların bulunmasıdır. Bu yöntem, Huffman yöntemine göre yapılması çok kolay bir yöntemdir. Huffman kodlamasında olduğu gibi olasılık ağacına, dolayısıyla görüntünün boydan boya taranmasına, karar mekanizmasına ve karmaşık bit işlemlerine gerek kalmadan gerçekleştirilebilir. Fakat sıkıştırma miktarı yüksek anlamalı dört

bitin koşu uzunluğuna bağlı olduğu için her zaman sıkıştırmayı garantilemez. Düşük anlamlı dört bit sayfası olduğu gibi saklandığı için, sıkıştırma oranı 4 bit/piksel üzerinde olacaktır.

4.4. Lempel-Ziv Kodlaması

Kaynak kodlaması için kullanılan tekniklerden biridir. Daha önce konu edilen üç teknikte mesaj işareti kodlanıp gönderildikten sonra alıcı tarafta kod çözme işlemi için o mesajın olasılığı gereklidir. Lempel-Ziv algoritmasının diğer tekniklerden farkı, kodlanacak mesaj işaretinin olasılığına bağlı olmamasıdır. Bu sebeple daha az bilgiye ihtiyaç gösteren Lempel-Ziv algoritması kullanılarak optimum kodlama yapılır (Ziv et. al, 1977).

Bu algoritmada kodlanacak veriden alınan n uzunluklu bilgi bir tamponda saklanır. n ; saklayıcı tamponun uzunluğunu, Ls ; işlem yapılan bit uzunluğunu gösteren tam sayılardır. İlk adımda $(n-Ls)$ bit uzunluklu tampondan sürülen A dizisiyle, tümü sıfır doldurulmuş B dizisi karşılaştırılır. A dizisinin B dizisine girme miktarı kadar A dizisine yeni bit, B dizisine A dizisiyle ortak kısım eklenir. Karşılaştırma işlemi aynı şekilde kodlanacak bit dizisi sonlana kadar devam eder. Karşılaştırmalar sonunda elde edilen kayma miktarı, sayıcının değeri ve o an A dizisinde bulunan verinin son biti kod işaretini oluşturur.

Örneğin '001010210210212021200' veri dizisi için $n=18$, $Ls=9$ olmak koşuluyla $A_1=001010210$, $B_1=000000000$ karşılaştırıldığında $A_2=010210210$, $B_2=000000001$ yeni değerlerini almakta $C_1=21102$ kod işareti ilk adım için elde edilmektedir.

Bu tez çalışmasında kayıplı sıkıştırma teknikleriyle sıkıştırılan görüntüler Lempel-Ziv algoritmasıyla kodlanmaktadır. Son bölümde ortaya konan sonuçlar bu kodlamadan elde edilen veriler üzerine uygulanarak ortaya konmuştur.

V. YAKLAŞIMLAR VE BENZETİŞİMLER

Bu bölümde daha önce anlatılan kayıplı ve kayıpsız sıkıştırma teknikleri belirlenen performans kriterleri altında karşılaştırılacaktır. Yapılan karşılaştırmalar görüntülerle desteklenerek YAR görüntüleri için en iyi sonucu hangi tekniklerin verdiği belirlenecektir. İlk adımda sabit katsayılı dönüşüm teknikleri arasında bir karşılaştırma yapılarak en iyi sonucu veren teknikler alt band ayrışım tekniğiyle karşılaştırılmıştır. İkinci adımda kayıpsız sıkıştırma tekniklerinin etkisinin belirlenmesi amacıyla ilk aşamada uygulanan tekniklerin sonuçları Lempel-Ziv algoritmasıyla sıkıştırılmıştır. Bu bölümdeki sonuçlar MATLAB benzetişimleri yardımıyla elde edilmiştir.

5.1. Performans Kriterleri

Sıkıştırma tekniklerinin sonuçları aşağıda açıklanan yedi kriterle ortaya konmuştur. Ortalama karesel hata gürültünün gücünün belirlenmesi amacıyla tercih edilmiştir. İşaret gürültü oranı ve tepeden tepeye işaret gürültü oranı işaretin gücüyle gürültünün gücünün karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır. Görüntü işlemede bu kriterlerden pikselin alabileceği en büyük değere göre tanımlanan tepeden tepeye işaret gürültü oranı yaygın olarak kullanılır. Enerji korunumu, sıkıştırma sonunda işaretin enerjisinin ne kadarının korunduğunu göstermesi açısından önem taşıyan bir kriterdir. Dönüşüm ve kodlama kazançları, dönüşüm ve kodlama işlemlerinin verimlerini ortaya koymaktadır. Toplam sıkıştırma oranı da sıkıştırma işlemlerinin genel kazancını belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

- Ortalama karesel hata, MSE ;

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_i^N \sum_j^N (u(i,j) - u^*(i,j))^2 \quad (5.1)$$

burada $u(i,j)$ ve $u^*(i,j)$ sırasıyla $N \times N$ boyutlu asıl görüntü ve yeniden elde edilmiş görüntünün i . satır j . sütun piksel değerleridir.

- İşaret gürültü oranı, SNR ;

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sigma_u^2}{MSE^2} \quad (5.2)$$

- Tepeden tepeye işaret gürültü oranı, $PSNR$;

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE^2} \quad (5.3)$$

- Enerji korunumu, Ec ;

$$Ec = \frac{\sum_k \sum_l v(k,l)^2}{\sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} v(k,l)^2} = \frac{\text{geçirme bandındaki enerji}}{\text{toplam enerji}} \quad (5.4)$$

burada $v(k,l)$ dönüşüm sonunda elde edilen piksel değerleridir.

- Dönüşüm kazancı, Gt ;

$$Gt = 1 - \frac{\sum_i \sum_j v(k,l)}{\sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L v(k,l)} \quad (5.5)$$

- Kodlama kazancı, Gc ;

$$Gc = \frac{\sum_i x_i}{\sum_{i=0}^{K-1} x_i} \quad (5.6)$$

burada x_i bit sayısıdır.

- Toplam sıkıştırma oranı, TCR ;

$$TCR = \frac{\text{sıkıştırılmış veri}}{\text{asıl veri}} \quad (5.7)$$

5. 2. Sabit Katsayılı Dönüşüm Benzetişimleri

İlk dört performans kriterine göre sabit katsayılı dönüşüm tekniklerinin (SKDT) sonuçları Tablo 5.1, Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de verilmektedir.

TABLO-5.1 ORTALAMA KARESEL HATANIN SKDT İÇİN SONUÇLARI

Korunan Dön. Değ.	AKD	KLD	ASD	SD	WHD
64	9.97e-31	2.7e-31	4.44e-31	2.69e-31	9.67e-31
49	0.0013	0.0013	0.0018	0.0026	0.0140
36	0.0042	0.0043	0.0104	0.0151	0.0367
25	0.0080	0.0078	0.0142	0.0241	0.0410
16	0.0128	0.0127	0.0260	0.0504	0.0502
4	0.0406	0.0389	0.0658	0.0523	0.0556

TABLO-5.2 İŞARET GÜRÜLTÜ ORANININ SKDT İÇİN dB CİNSİNDEN SONUÇLARI

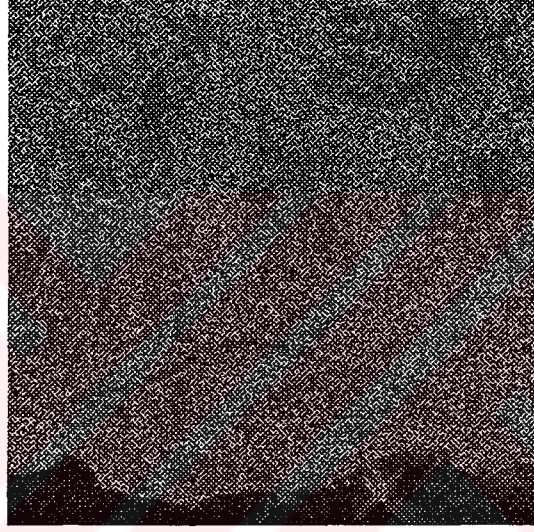
Korunan Dön. Değ.	AKD	KLD	ASD	SD	WHD
64	669	682.44	677.51	684.57	669.73
49	44.79	44.91	41.58	38.28	21.32
36	33.25	33.17	24.25	20.54	11.67
25	26.88	27.18	21.17	15.89	10.56
16	22.17	22.28	15.12	8.5	8.55
4	10.66	10.84	5.83	8.14	7.52

TABLO-5.3 TEPEDEN TEPEYE İŞARET GÜRÜLTÜ ORANININ dB CİNSİNDEN SKDT İÇİN SONUÇLARI

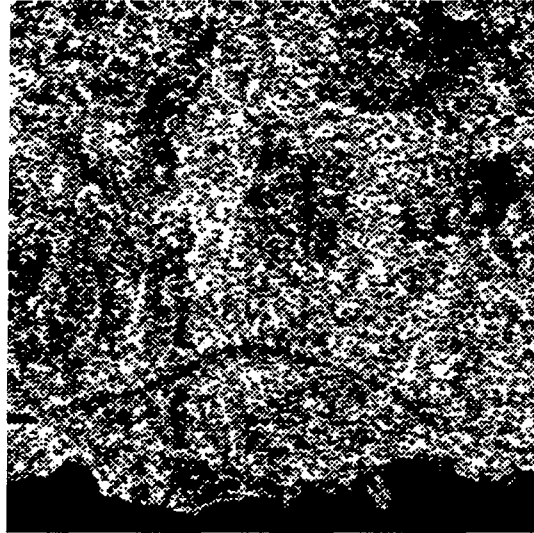
Korunan Dön. Değ.	AKD	KLD	ASD	SD	WHD
64	810.42	814.64	809.71	813.76	801.92
49	176.99	177.11	173.78	170.48	153.52
36	165.45	165.31	156.44	152.74	143.87
25	159.08	159.321	153.37	148.08	142.76
16	154.37	154.48	147.32	140.70	140.47
4	142.86	143.04	138.03	140.33	139.72

TABLO-5.4 ENERJİ KORUNUMUNUN % CİNSİNDEN SKDT İÇİN SONUÇLARI

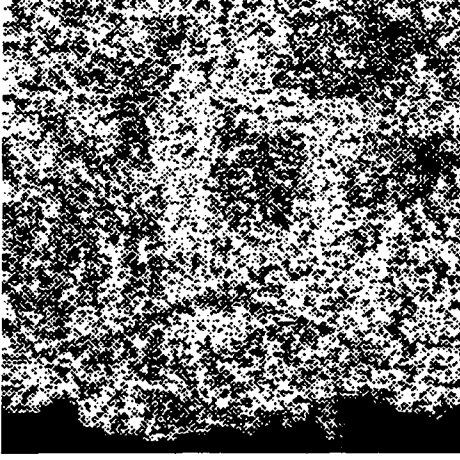
Korunan Dön. Değ.	AKD	KLD	ASD	SD	WHD
64	100	100	100	100	100
49	80.27	80.39	77.27	74.47	46.65
36	66.95	66.73	52.91	44.82	28.20
25	60.93	57.48	47.87	37.49	25.62
16	49.28	50.63	38.91	19.57	23.48
4	29.58	32.95	26.42	18.79	20.56



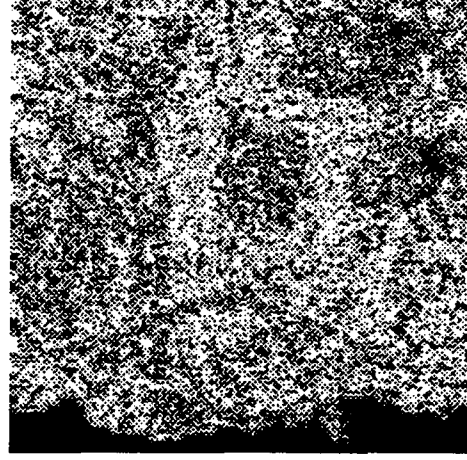
Şekil 5.1. Asıl YAR Görüntüsü



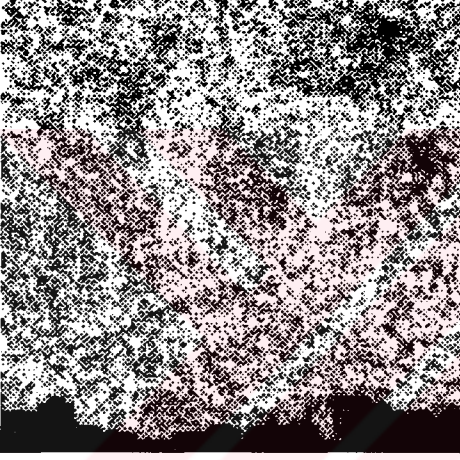
Şekil 5.2. Sigma Süzgeci Kullanılarak Noktasal Gürültüden Temizlenmiş
YAR Görüntüsü



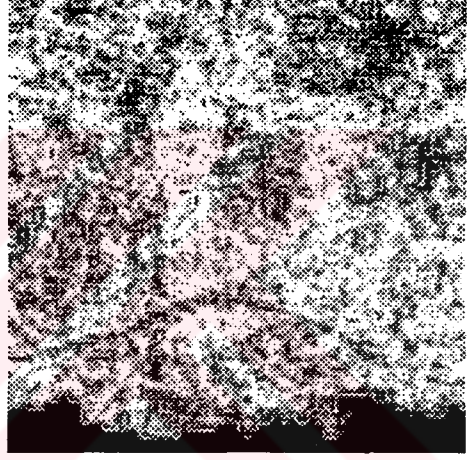
(a) AKD



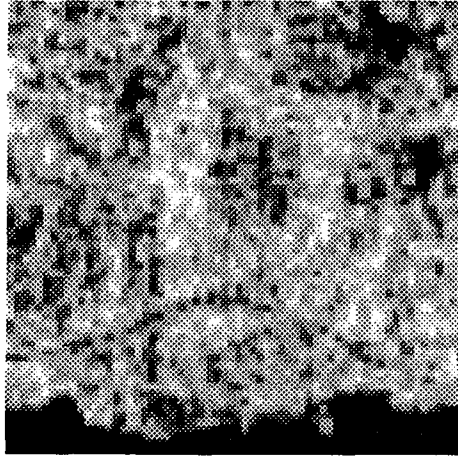
(b) KLD



(c) ASD

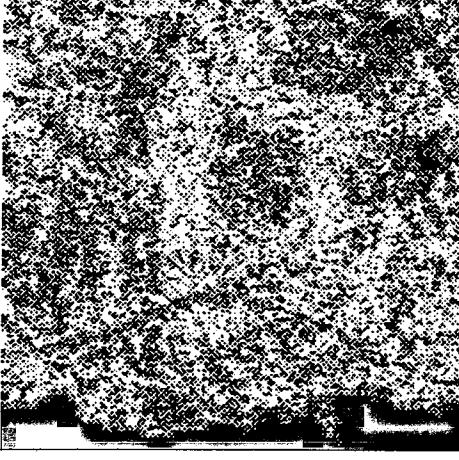


(d) SD

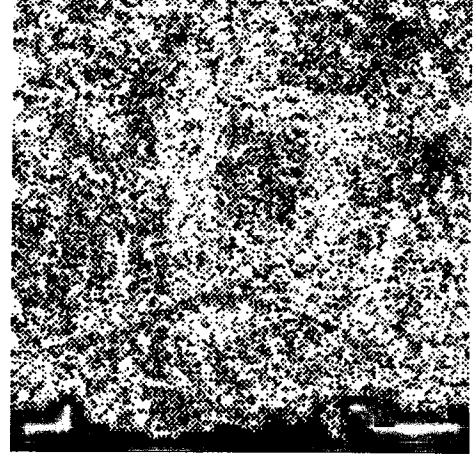


(e) WHD

Şekil 5.3. 8×8'lik Dönüştürülmüş Görüntü Matrisinden 4×4'lük Kısmı Korunarak Elde Edilmiş YAR Görüntüleri



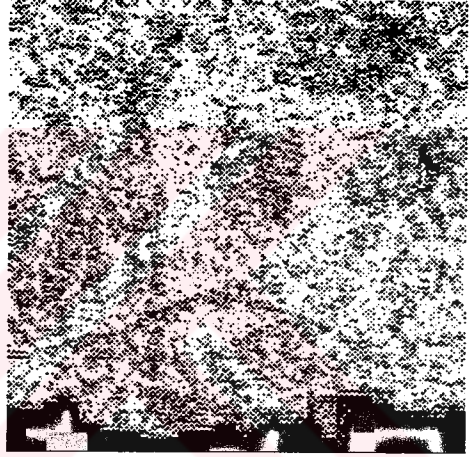
(a) AKD



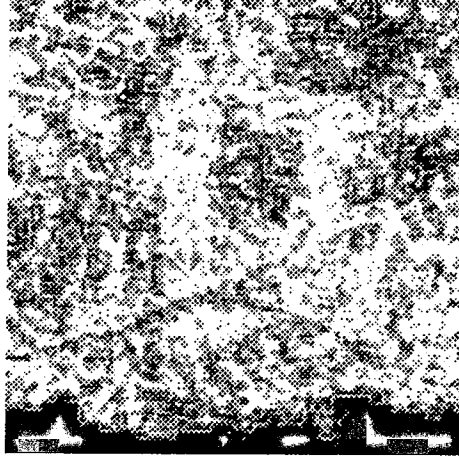
(b) KLD



(c) ASD

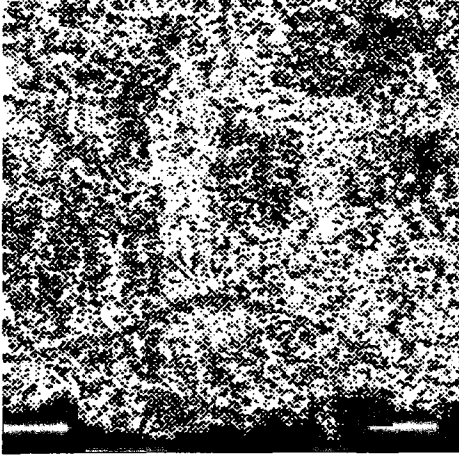


(d) SD

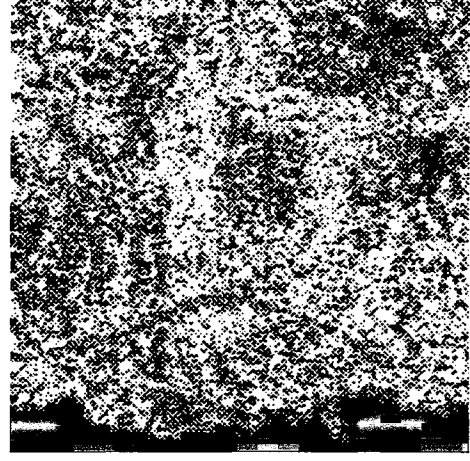


(e) WHD

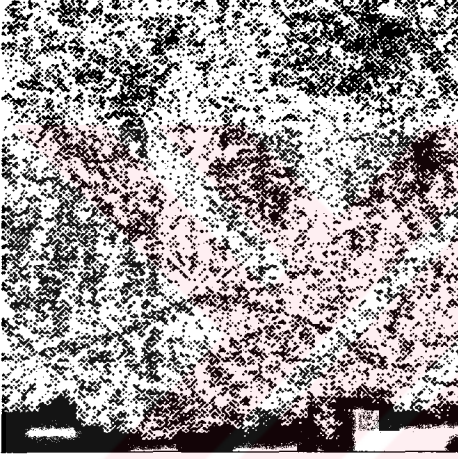
Şekil 5.4. 8×8 'lik Dönüştürülmüş Görüntü Matrisinden 5×5 'lik Kısmı Korunarak Elde Edilmiş YAR Görüntüleri



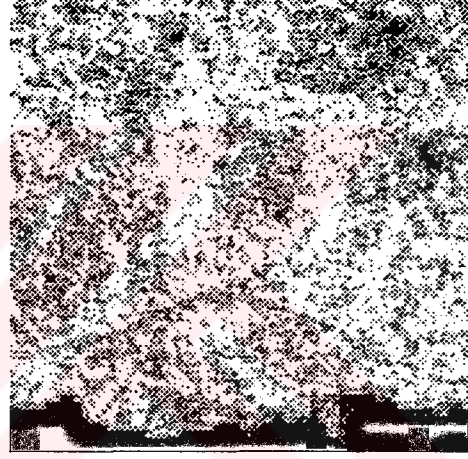
(a) AKD



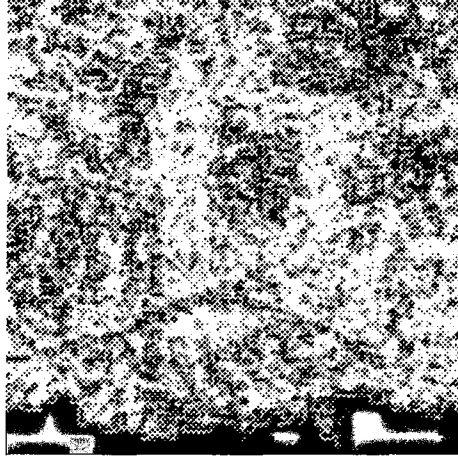
(b) KLD



(c) ASD



(d) SD

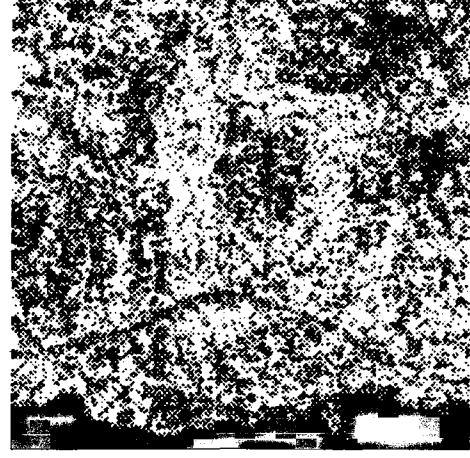


(e) WHD

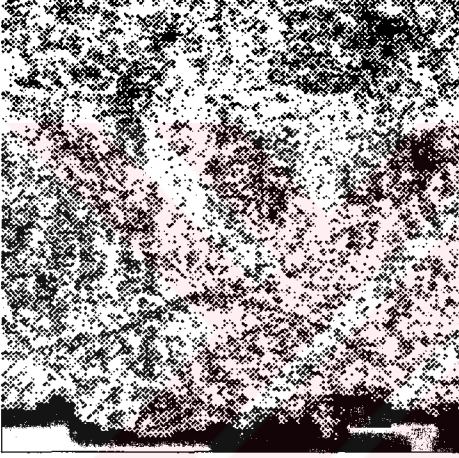
Şekil 5.5. 8×8'lik Dönüştürülmüş Görüntü Matrisinden 6×6'lık Kısmı Korunarak Elde Edilmiş YAR Görüntüleri



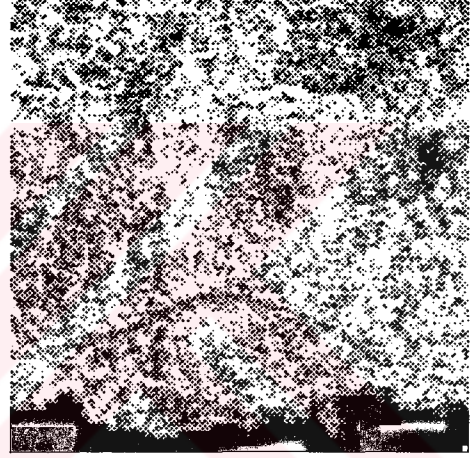
(a) AKD



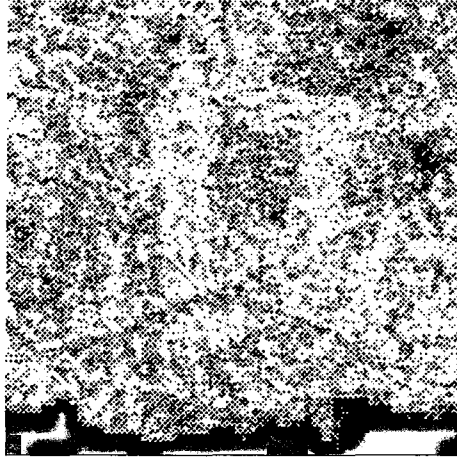
(b) KLD



(c) ASD



(d) SD



(e) WHT

Şekil 5.6. 8×8 'lik Dönüştürülmüş Görüntü Matrisinden 7×7 'lik Kısmı Korunarak Elde Edilmiş YAR Görüntüleri

Bu tez çalışmasında sıkıştırma etkilerinin daha objektif gözleyebilmek için bütün sonuçlar aynı görüntü üzerinde verilmiştir. Şekil 5.1’de 512×512 boyutunda asıl SAR görüntüsü görülmektedir. Şekil 5.2 sigma süzgeci yardımıyla noktasal gürültüden temizlenmiş SAR görüntüsüdür. Sabit katsayılı dönüşüm teknikleri arasında bütün performans kriterlerine göre yapılan karşılaştırmalarda SAR görüntüleri için en iyi sonucu AKD ve KLD vermektedir. Bu sonuçlar Tablo 5.5 ve Tablo 5.6’da verilmektedir. Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da karşılaştırma görüntüleri verilmektedir. Şekil 5.7’de AKD ve KLD arasındaki ikili karşılaştırma görüntüleri yer almaktadır.

TABLO-5.5 AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜNÜN PERFORMANS SONUÇLARI

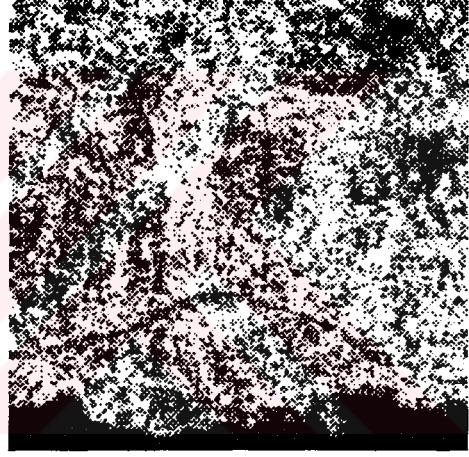
Korunan Dön. Değ.	MSE normalize	SNR dB	PSNR dB	E _c %	G _T %
64	5.9e-31	669	714	100	0
49	0.0013	44.79	176.99	80.27	23.45
36	0.0420	33.25	165.45	66.95	43.75
24	0.0800	26.88	159.08	60.93	57.07
16	0.0128	22.17	154.37	49.28	75
4	0.0406	10.66	142.86	29.58	93.75

TABLO-5.6 KARHUNEN LOEVE DÖNÜŞÜMÜNÜN PERFORMANS SONUÇLARI

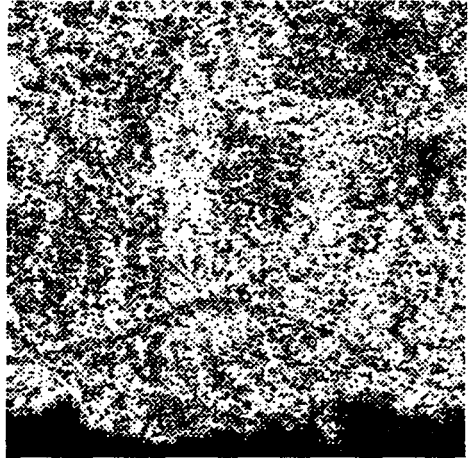
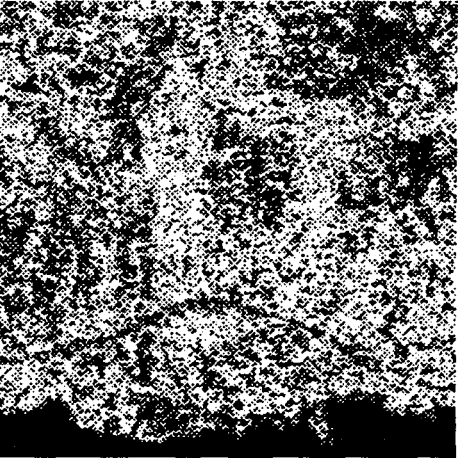
Korunan Dön. Değ.	MSE normalize	SNR dB	PSNR dB	E _c %	G _T %
64	2.7e-31	682.44	814.64	100	0
49	0.0013	44.91	177.11	80.39	23.43
36	0.0043	33.17	165.31	66.73	43.75
25	0.0078	27.18	159.31	57.48	60.93
16	0.0127	22.28	154.48	50.63	75
4	0.0389	10.84	143.04	32.95	93.75



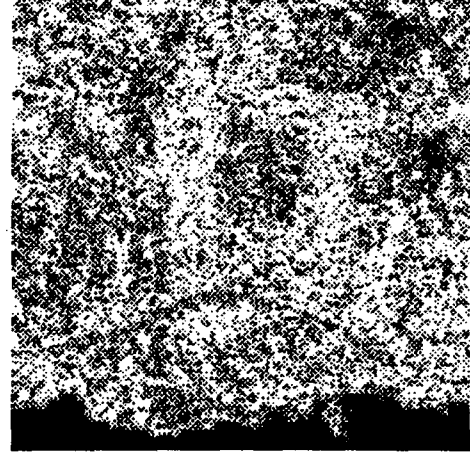
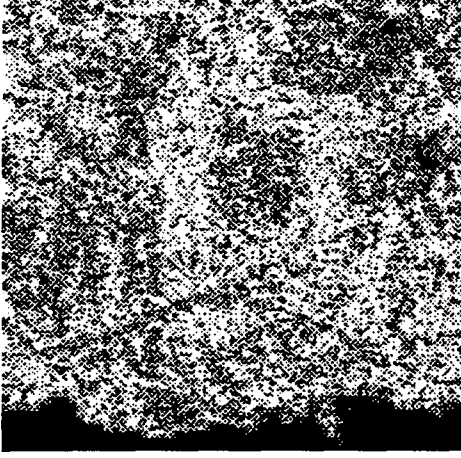
(a) 8×8'lik Kısım



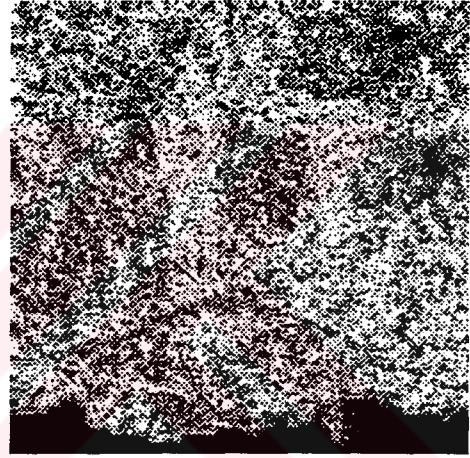
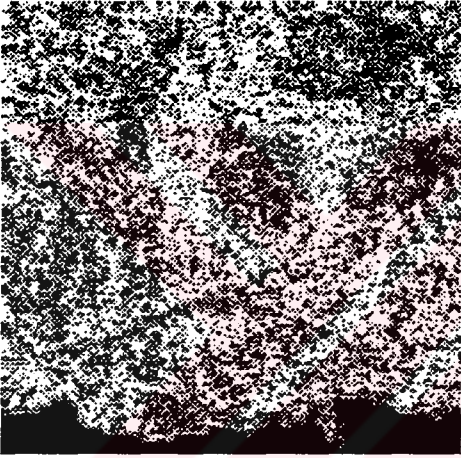
(b) 7×7'lik Kısım



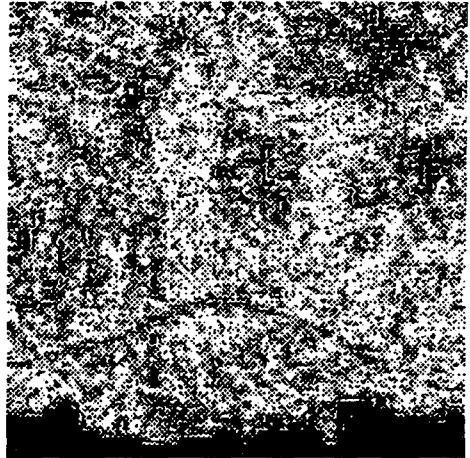
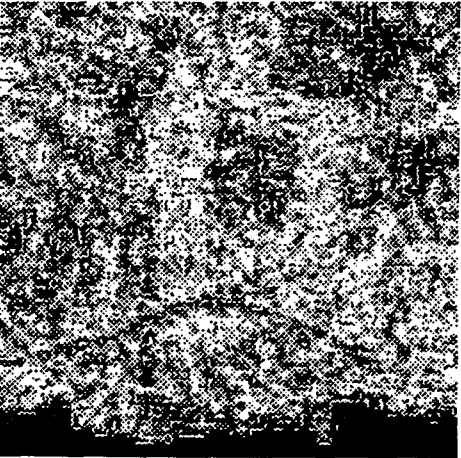
(c) 6×6'lik Kısım



(d) 5×5'lik Kısım



(e) 4×4'lük Kısım

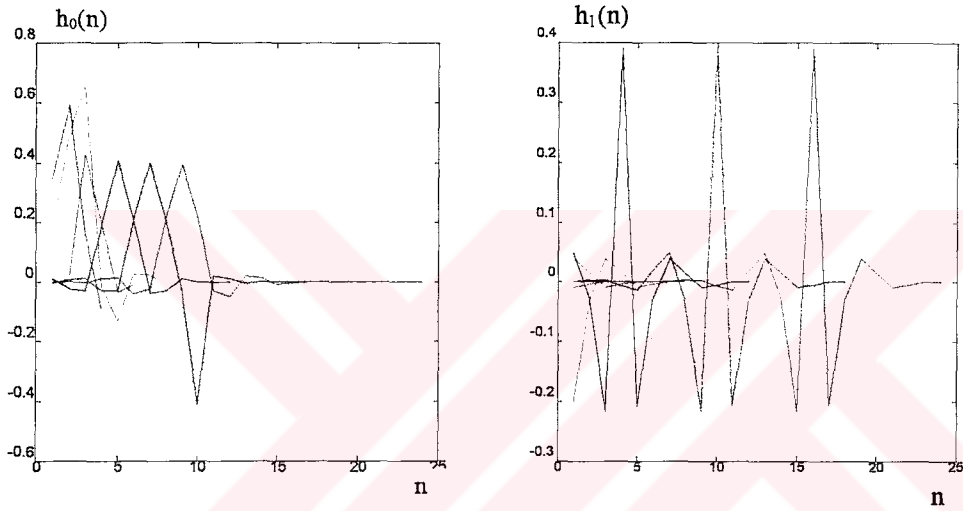


(f) 2×2'lik Kısım

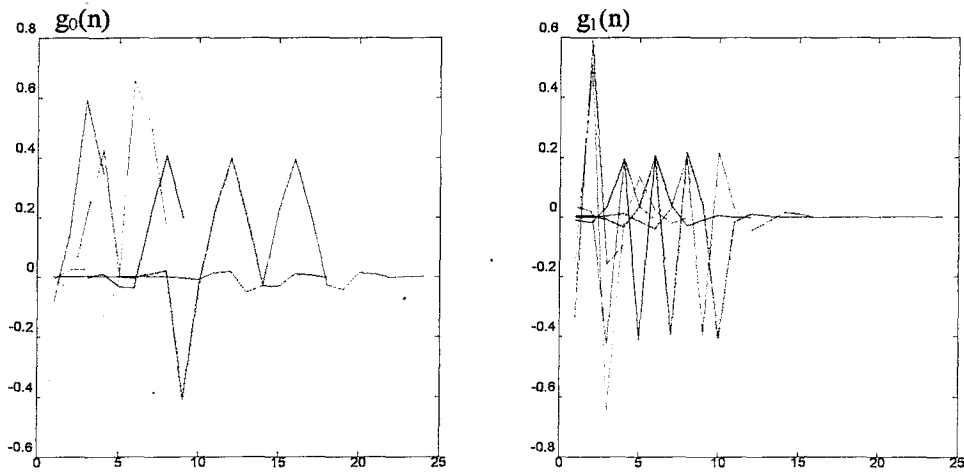
Şekil 5.7. 8×8'lik Dönüştürülmüş Görüntü Matrisinden Farklı Kısımları Korunarak Elde Edilmiş YAR Görüntüleri(Sağdaki görüntüler AKD' ye soldakiler KLD' ye aittir.)

5. 3. Alt Band Ayırışım Benzetişimleri

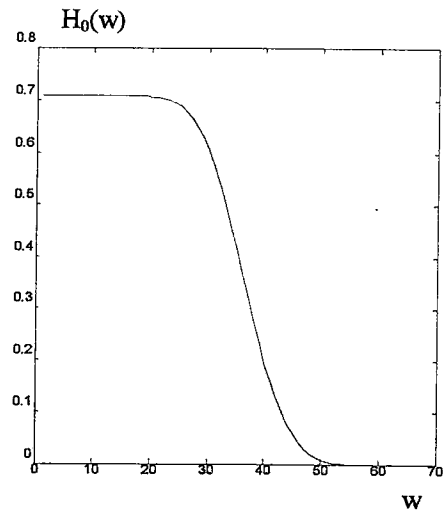
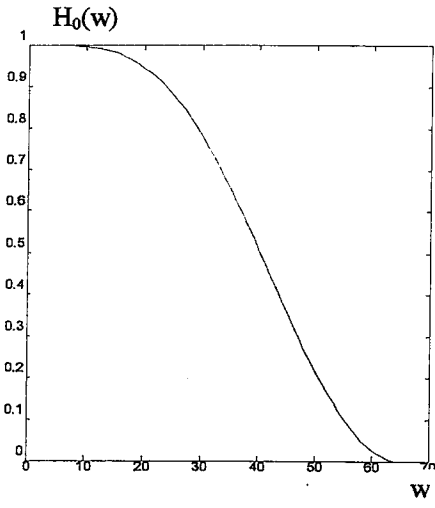
Alt band ayırışımında kullanılan alt band ayırışım sűzgeçleri $h_0(n)$, $h_1(n)$ ve alt band birleşim sűzgeçleri $g_0(n)$, $g_1(n)$ sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da görűlmektedir. Daha önce değinildiği gibi bu sűzgeçler DAS yapısımdadır. Sűzgeç katsayıları Ayrık Dalgacık Dönüşümü yardımıyla hesaplanmıştır. Şekil 5.10 ve sekil 5.11'de 4. ve 24. dereceden alt band ayırışım sűzgeçlerinin frekans cevapları $H_0(w)$ ve $H_1(w)$ yer almaktadır.



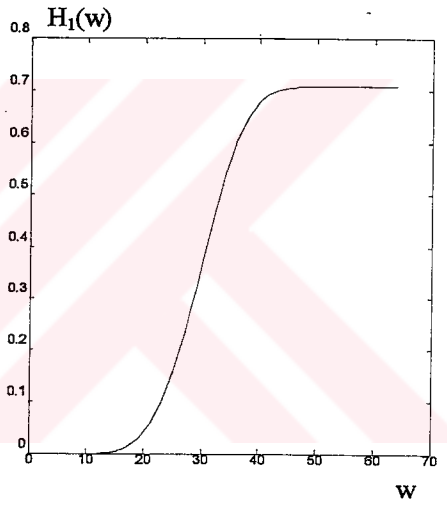
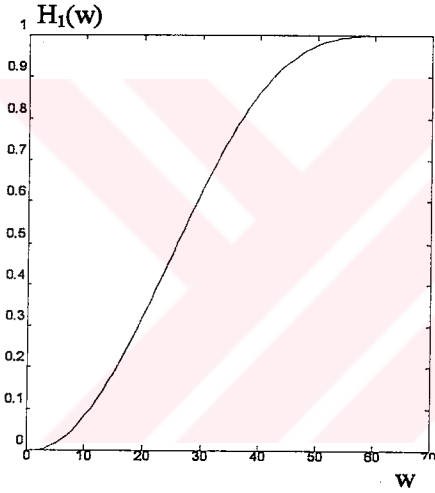
Şekil 5.8. Alt Band Ayırışım Sűzgeçleri



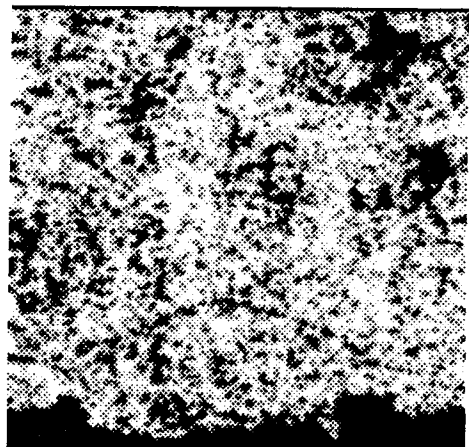
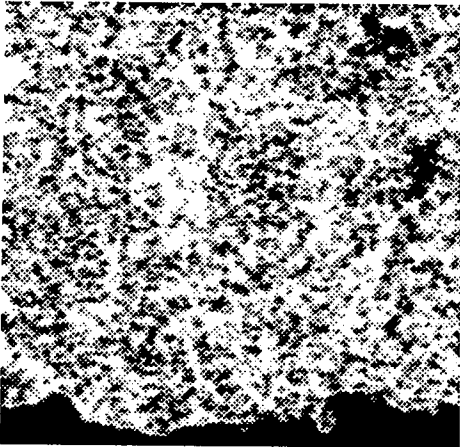
Şekil 5.9. Alt Band Birleşim Sűzgeçleri



Şekil 5.10. Alçak Geçiren Alt Band Ayrışım Süzgeci Frekans Cevabı

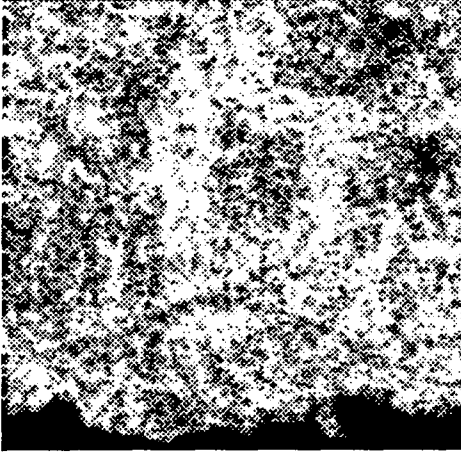


Şekil 5.11. Yüksek Geçiren Alt Band Ayrışım Süzgeci Frekans Cevabı

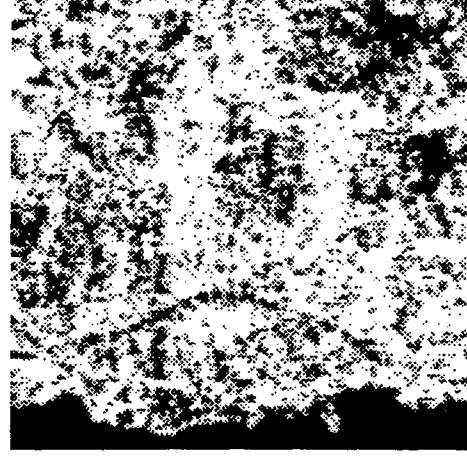


(a) 4. dereceden

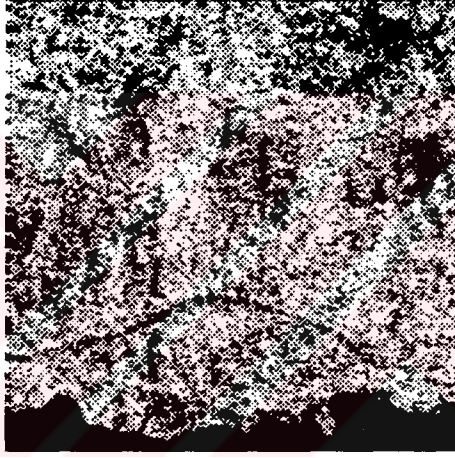
(b) 6. dereceden



(c) 8. dereceden



(d) 12. dereceden



(e) 24. dereceden

Şekil 5.12. Çeşitli Derecelerden Süzgeçler Kullanılarak Elde Edilen YAR Görüntüleri

TABLO-5.7 AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜNÜN PERFORMANS SONUÇLARI

Süzgeç Derecesi	MSE normalize	SNR dB	PSNR dB	E_c %	G_T %
4	0.0437	9.09	142.12	51.24	75
6	0.0835	12.72	147.83	62.60	75
8	0.0671	14.92	151.45	66.95	75
12	0.0436	9.22	145.08	60.93	75
18	0.1740	10.20	148.37	57.49	75
24	0.0442	10.66	149.86	58.58	75

Göz önünde aldığımız performans kriterlerine göre ADD yardımıyla alt band ayrışımının sonuçları Tablo 5.7’de verilmektedir. Şekil 5.12’de çeşitli derecelerden süzgeçler yardımıyla elde edilen görüntüler yer almaktadır.

5. 4. Kayıpsız Dönüşüm Benzetişimleri

Daha önce anlattığımız kayıpsız sıkıştırma tekniklerinden sadece Lempel-Ziv algoritması kayıplı sıkıştırma işleminden sonra uygulanmıştır. Bu algoritmanın tercih edilmesinin sebebi diğerlerinden farklı olarak kod çözme işlemi sırasında kodlanan mesajın olasılığına gereksinim duymamasıdır. Lempel-Ziv algoritmasının YAR görüntüleri üzerindeki kodlama kazancı genellikle %13 civarında değişmektedir. Bu sonuçlar Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10’da verilmektedir.

5. 5. Benzetişim Sonuçları

Sabit katsayılı dönüşüm teknikleri arasında en iyi sonuçları AKD ve KLD’nin verdiğini daha önce söylemiştik. ADD yardımıyla alt band ayrışımının performans kriterlerine göre sıkıştırma performansı AKD ve KLD’den daha iyidir. Bu yorum Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10’na bakılarak rahatça yapılır. Şekil 13’de bahsettiğimiz tekniklerle sıkıştırılmış %75 enerjisi korunan YAR görüntüleri verilmektedir.

TABLO-5.8 AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ İÇİN MATLAB BENZETİŞİM SONUÇLARI

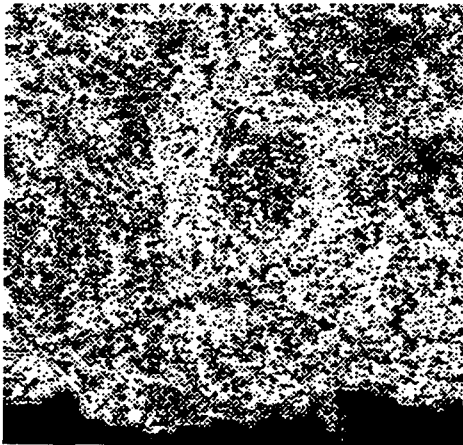
Korunan Dön. Değ.	MSE normalize	SNR dB	PSNR dB	E_c %	G_T %	G_c %	TCR %
64	5.9e-31	669	714	100	0	14.23	14.23
49	0.0013	44.79	176.99	80.27	23.45	13.92	34.11
36	0.0420	33.25	165.45	66.95	43.75	13.83	51.53
24	0.0800	26.88	159.08	60.93	57.07	12.87	62.60
16	0.0128	22.17	154.37	49.28	75	12.55	78.14
4	0.0406	10.66	142.86	29.58	93.75	12.33	94.52

TABLO-5.9 KARHUNEN LOEVE DÖNÜŞÜMÜ İÇİN MATLAB BENZETİŞİM SONUÇLARI

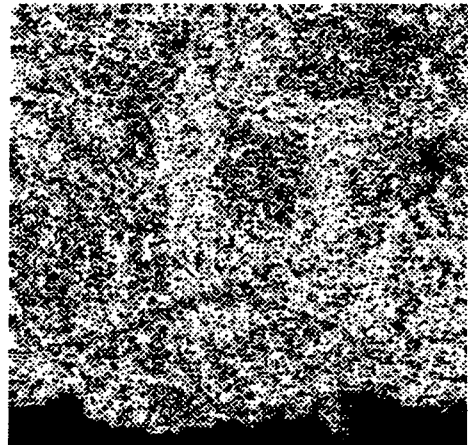
Korunan Dön. Değ.	MSE normalize	SNR dB	PSNR dB	E _c %	G _T %	G _C %	TCR %
64	2.7e-31	682.44	814.64	100	0	14.75	14.75
49	0.0013	44.91	177.11	80.39	23.43	13.90	34.05
36	0.0043	33.17	165.31	66.73	43.75	13.85	52.00
25	0.0078	27.18	159.31	57.48	60.93	12.94	63.15
16	0.0127	22.28	154.48	50.63	75	12.58	78.14
4	0.0389	10.84	143.04	32.95	93.75	12.24	93.98

TABLO-5.10 AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İÇİN MATLAB BENZETİŞİM SONUÇLARI

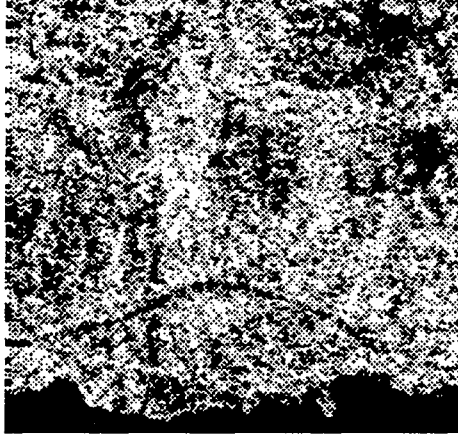
Süzgeç Derecesi	MSE normalize	SNR dB	PSNR dB	E _c %	G _T %	G _C %	TCR %
4	0.0437	9.09	142.12	51.24	75	12.31	78.08
6	0.0835	12.72	147.83	62.60	75	12.44	78.11
8	0.0671	14.92	151.45	66.95	75	12.53	78.13
12	0.0436	9.22	145.08	60.93	75	12.63	78.16
18	0.1740	10.20	148.37	57.49	75	12.85	78.21
24	0.0442	10.66	149.86	58.58	75	12.92	78.23



(a) AKD



(b) KLD



(c) ADD

Şekil 13. En İyi Sıkıştırma Sağlayan Üç Teknikle Elde Edilen YAR Görüntüleri



VI. GELECEK ÇALIŞMALAR ve SONUÇLAR

Bu tezde, daha önce doğal görüntüler üzerinde uygulanmış sıkıştırma tekniklerinin yapay açıklıklı radar görüntüleri üzerindeki sonuçları ortaya konmuştur. YAR görüntüleri yapısı gereği noktasal gürültülü ve görüntü pikselleri birbiriyle yüksek ilişkili değildir. Bu sebeplerden dolayı doğal görüntülere uygulanan sıkıştırma tekniklerinin YAR görüntüleri üzerindeki sonuçları iyi belirlenmemiştir. Bu güne değin görüntü sıkıştırma üzerine bir çok çalışma yapılmakla birlikte YAR görüntü sıkıştırma ile ilgili bu tür karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmamıştır. Bu tezde sözkonusu açık giderilmeye çalışılmıştır. Bunun için ilk olarak YAR görüntüleri noktasal gürültü süzgeçleri yardımıyla gürültüden temizlenmiştir. Bu noktada daha iyi performans gösteren noktasal gürültü süzgeçleri kullanılarak elde edilen sonuçlar geliştirilebilir.

Noktasal gürültüden temizlenen YAR görüntülerine (JPEG görüntü sıkıştırma formatına benzer bir yaklaşımla) kayıplı dönüşüm teknikleriyle görüntü dönüşümü uygulanmış, dönüştürülen görüntünün piksel değerleri skaler kuantalanmış ve kuantalanan değerler kodlanmıştır. Görüntüyü yeniden elde etmek için bu işlemlerin tersi yapılmaktadır. Anlatılan bu işlemenin her aşamasında farklı algoritmalar kullanılmıştır.

Dönüşüm aşamasında kullanılan sabit katsayılı dönüşüm tekniklerinden en iyi sonuçları doğal görüntülerde olduğu gibi AKD ve KLD'mü vermiştir. Bununla birlikte KLD'ü aşırı bir işlem yükü getirmektedir. Bu sebeble AKD, KLD'ye tercih edilmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda bu yükü azaltabilecek gelişmiş algoritmalar kullanılabilir. Dönüşüm aşamasında kullanılan bir başka yöntem alt band ayrışımı sabit katsayılı dönüşümlerden daha iyi sonuç vermiştir. Yeni yapılacak çalışmalarda YAR görüntüsünün kullanım alanına göre bu sonuçlar iyileştirilebilir.

Kuantalama aşamasında tezde skaler kuantalama uygulanmıştır. Bu işlem dönüştürülmüş görüntü eleman değerlerinin [0-256] aralığında ölçeklenmesine karşı düşmektedir. Burada uygulanabilecek alternatif bir yöntem de dönüştürülmüş görüntü

eleman değerlerinin vektörel kuantalanmasıdır. Vektörel kuantalamanın özelliklerinden yararlanılarak sıkıştırma performansını artırılabilir.

Kodlama aşamasında, dördüncü bölümde anlatılan kodlama algoritmalarından Lempel-Ziv algoritması uygulanmıştır. Bunun nedeni bu algoritmanın diğer algoritmalara göre daha az bilgiye ihtiyaç göstermesidir. Bu aşamada yapılabilecek geliştirme, kodlama algoritmalarının daha iyi adaptasyonu ile sağlanabilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda YAR görüntüleri için görüntü sıkıştırma formatlarına (JPEG, MPEG) benzer bir görüntü formatı oluşturularak baskı devre haline getirilmesi düşünülebilir. Böylece YAR görüntü sıkıştırma kartı sıkıştırma işlemi gereken her yere rahatça kullanılabilir.



KAYNAKLAR

Antonini Marc, Barlaud Michel, Mathieu Pierre, Daubechies Ingrid, 1992. "Image Coding Using Wavelet Transform", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 1, no. 2, April, pp.205-220

Akansu N. Ali, Haddad A. Richard, 1992. "Multiresolution Signal Decomposition", Academic Press, Inc.

Benz Ursula, Strodl Klaus, Moreira Alberto, 1995. "A Comparison of Several Algorithms for SAR Raw Data Compression", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, vol. 33, no. 5, September, pp.1206-1276

Dutkiewicz Melanie, Cumming Jan, 1994. "Evaluation of the Effects of Encoding SAR Data", American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

Dündar Sadık, 1995. "Sayısal Görüntü Alt Band Kodlaması", İTÜ FBE Yüksek Lisans Tezi, Haziran

Frost S. Victor, Stiles A. Josephine, Shanmugan K. S., Holtzman C. Julian, 1982. "A Model for Radar Images and Its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. Pami-4, no.2, March, pp.157-165

Jain K. Anil, 1989. "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice Hall Inc.

Matic M. Roy, Mosley I. Judy, 1993. "Wavelet Transform - Adaptive Scalar Quantization of Multispectral Data", AIAA Computing in Aerospace 9 Conference, October

Nezry Edmond, Lopes Armand, Touzi Ridha, 1991. "Detection of Structural and Textural Features for SAR Images Filtering"

Oppenheim V. Alan, Schafer W. Ronald, 1994. "Discrete Time Signal Processing", Prentice Hall Inc.

Pratt K. William, 1991. "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, Inc.

Ranchin Thierry, Wald Lucien, 1993. "The Wavelet Transform for The Analysis of Remotely Sensed Images", Int. J. Remote Sensing Letters, vol. 14, no. 3, October, pp. 615-619

Rolt D. Kenneth, Schmitt Henrik, 1992. "Azimuthal Ambiguities in Synthetic Aperture Sonar and Synthetic Aperture Radar Imagery", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 17, no. 1, January, pp. 73-79

Shi Zhenghao, Fung B.Ko, 1994. "A Comparison of Digital Speckle Filters"

Sayood Khalid, 1992. "Data Processing in Remote Sensing Applications", IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter, September, pp. 7-15

Ziv Jacob, Lempel Abraham, 1977. "A Universal Algorithm for Sequential Data Compression", IEEE Trans. on Information Theory, vol. it-23, no. 3, May, pp.337-343



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serkan EMEK

Doğum Tarihi : 16 / 08 / 1973

Doğum Yeri : Havran/Balıkesir

Öğrenim Gördüğü Okullar :

1979 - 1984 Havran Sekiz Eylül İlkokulu

1984 - 1990 Maltepe Orhangazi Lisesi

1990 - 1994 Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fak.,
Elektronik ve Haberleşme Müh. Bölümü

1995 yılı Ocak ayından itibaren Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve
Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Haberleşme Anabilim Dalında Yüksek Lisans
yapmakta ve Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.