

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MJPEG–2000 İLE İLGİ BÖLGESİ KULLANARAK SIKIŞTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Hamdi ÖZBAYBURTLU**

**Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği**

**HAZİRAN 2009**



**MJPEG–2000 İLE İLGİ BÖLGESİ KULLANARAK SIKIŞTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hamdi ÖZBAYBURTLU  
(504061320)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Melih PAZARCI (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bilge GÜNSEL (İTÜ)  
Doç. Dr. Uluğ BAYAZIT (İTÜ)**



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimimin ve tez çalışmamın her aşamasında bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Melih PAZARCI 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Yüksek Lisans eğitimim süresince sağladığı destekten ötürü TUBITAK BİDEB (Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı)'na teşekkür ederim.

Haziran 2009

Hamdi ÖZBAYBURTLU

Elektronik ve Haberleşme Müh.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                     |             |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KISALTMALAR .....</b>                                            | <b>vii</b>  |
| <b>TERİMLER .....</b>                                               | <b>ix</b>   |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ .....</b>                                        | <b>xi</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>                                          | <b>xiii</b> |
| <b>ÖZET .....</b>                                                   | <b>xv</b>   |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                | <b>xvii</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                               | <b>1</b>    |
| <b>2. JPEG–2000 GÖRÜNTÜ SIKIŞTIRMA TEMELLERİ VE STANDARDI .....</b> | <b>3</b>    |
| 2.1 JPEG Hakkında .....                                             | 3           |
| 2.2 JPEG–2000 Standardının Ortaya Çıkışı .....                      | 3           |
| 2.3 Genel Özellikler .....                                          | 5           |
| 2.4 Dönüşüm Sistemleri .....                                        | 6           |
| 2.4.1 Renk dönüşümleri .....                                        | 8           |
| 2.4.1.1 Tersine çevrilemez renk dönüşümü (ICT) .....                | 9           |
| 2.4.1.2 Tersine çevrilebilir renk dönüşümü (RCT) .....              | 10          |
| 2.4.2 Dalgacık dönüşümü .....                                       | 10          |
| 2.4.2.1 Temel kavramlar .....                                       | 11          |
| 2.4.2.2 İki boyutlu ADD (2D DWT) ve çözünürlük seviyeleri .....     | 13          |
| 2.4.2.3 Tersine çevrilemez ADD .....                                | 17          |
| 2.4.2.4 Tersine çevrilebilir ADD .....                              | 18          |
| 2.4.3 Kuantalama ve aralık belirleme .....                          | 19          |
| 2.5 Bölümleme Sistemleri .....                                      | 20          |
| 2.5.1 Bileşenler ve referans düzlemi .....                          | 21          |
| 2.5.2 Karo (tile) parçaları .....                                   | 23          |
| 2.5.3 Kod blokları ve civar (precincts) gruplama .....              | 25          |
| 2.6 Kodlama Sistemi .....                                           | 27          |
| 2.6.1 Birinci aşama: bit-düzlemi kodlama .....                      | 27          |
| 2.6.1.1 Önem Kodlama Geçişi .....                                   | 29          |
| 2.6.1.2 İyileştirme kodlama geçişi .....                            | 30          |
| 2.6.1.3 Temizleme kodlama geçişi .....                              | 30          |
| 2.6.2 İkinci aşama: paket ve katman yapısı .....                    | 31          |
| 2.6.3 Bit oran kontrolü ve bozulma optimizasyonu .....              | 34          |
| 2.7 Kod Akışı Sözdizimi .....                                       | 37          |
| <b>3. MJPEG–2000 VE İLGİ BÖLGESİ (ROI) KULLANARAK KODLAMA .....</b> | <b>41</b>   |
| 3.1 MJPEG–2000 .....                                                | 41          |
| 3.2 İlgili Bölgesi (ROI) ve Kullanılan Yöntemler .....              | 41          |
| 3.2.1 Ölçeklendirme ile önceliklendirme .....                       | 42          |
| 3.2.1.1 Bölge eşleme .....                                          | 44          |
| 3.2.2 Maxshift yöntemi .....                                        | 45          |
| 3.2.2.1 İyileştirme çalışmaları .....                               | 47          |

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.3 Örtülü ROI kodlama.....                                      | 48        |
| 3.3 Hareketli Görüntüler İçin ROI Çalışmaları.....                 | 50        |
| <b>4. DÜŞÜK GECİKMELİ ÇERÇEVE İÇİ VIDEO KODLAMA İÇİN ROI</b>       |           |
| <b>UYGULAMALARI.....</b>                                           | <b>51</b> |
| 4.1 Test Ortamı ve Test Yöntemi.....                               | 51        |
| 4.2 Sonuçlar .....                                                 | 53        |
| 4.2.1 Maxshift yöntemi .....                                       | 54        |
| 4.2.2 Örtülü kodlama yöntemi.....                                  | 58        |
| 4.2.3 Seçimli altbantları kullanarak önceliklendirme yöntemi ..... | 61        |
| 4.2.4 Detay ağırlıklandırma ile örtülü kodlama yöntemi .....       | 63        |
| <b>YORUMLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                   | <b>67</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                              | <b>70</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                  | <b>73</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                               | <b>89</b> |

## KISALTMALAR

|              |                                                            |
|--------------|------------------------------------------------------------|
| <b>ADD</b>   | : Ayrık Dalgacık Dönüşümü                                  |
| <b>CABAC</b> | : Context Based Adaptive Binary Coder                      |
| <b>DWT</b>   | : Discrete Wavelet Transform                               |
| <b>DZQ</b>   | : Deadzone Scalar Quantization                             |
| <b>EBCOT</b> | : Embedded Block Coding with Optimal Truncation            |
| <b>EZQ</b>   | : Embedded Zerotree Wavelet                                |
| <b>ICT</b>   | : Irreversible Color Transform                             |
| <b>IEC</b>   | : International Engineering Consortium                     |
| <b>ISO</b>   | : International Organization for Standardization           |
| <b>ITU-T</b> | : International Telecommunications Union Telecommunication |
| <b>JPEG</b>  | : Joint Picture Experts Group                              |
| <b>LSB</b>   | : Least Significant Bit                                    |
| <b>MJPEG</b> | : Motion JPEG                                              |
| <b>MSB</b>   | : Most Significant Bit                                     |
| <b>PSNR</b>  | : Peak Signal to Noise Ratio                               |
| <b>RCT</b>   | : Reversible Color Transform                               |
| <b>ROI</b>   | : Region Of Interest                                       |
| <b>SPIHT</b> | : Set Partitioning In Hierarchical Trees                   |



## TERİMLER

|                                               |                                                         |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Binary Arithmetic Coder</b>                | : İkili Aritmetik Kodlayıcı                             |
| <b>Bit Rate</b>                               | : Bit Oranı                                             |
| <b>Code-Stream</b>                            | : Kod-Akışı                                             |
| <b>Component</b>                              | : Bileşen                                               |
| <b>Context</b>                                | : Konteks                                               |
| <b>Deadzone Scalar Quantization</b>           | : Ölü bölgesi Skalar Kuantalama                         |
| <b>Decode</b>                                 | : Kod Çözme                                             |
| <b>Decomposition Level</b>                    | : Ayrıştırma Seviyesi                                   |
| <b>Discrete Wavelet Transform</b>             | : Ayırık Dalgacık Dönüşümü                              |
| <b>Embedded Zerotree Wavelet</b>              | : Gömülü Sıfır Ağaç Dalgacık                            |
| <b>Encode</b>                                 | : Kodlama                                               |
| <b>Intra frame coding</b>                     | : Çerçeve içi kodlama                                   |
| <b>Inverse Transform</b>                      | : Ters Dönüşüm                                          |
| <b>Irreversible</b>                           | : Tersine Çevrilemez                                    |
| <b>Motion JPEG</b>                            | : Hareketli JPEG                                        |
| <b>Normalized</b>                             | : Normalize                                             |
| <b>Precinct</b>                               | : Civar                                                 |
| <b>Quantization</b>                           | : Kuantalama                                            |
| <b>Region Of Interest</b>                     | : İlgi Bölgesi                                          |
| <b>Resolution Level</b>                       | : Çözünürlük Seviyesi                                   |
| <b>Reversible</b>                             | : Tersine Çevrilebilir                                  |
| <b>Sampling</b>                               | : Örnekleme                                             |
| <b>Scalar</b>                                 | : Skalar                                                |
| <b>Set Partitioning In Hierarchical Trees</b> | : Sıradüzensel Ağaç Yapılarının Kümelere Bölüntülenmesi |
| <b>Stage</b>                                  | : Düzey                                                 |
| <b>Subband</b>                                | : Altband                                               |
| <b>Syntax</b>                                 | : Sözdizimi                                             |
| <b>Tile</b>                                   | : Karo                                                  |
| <b>Transform</b>                              | : Dönüşüm                                               |
| <b>Transform Kernel</b>                       | : Dönüşüm Çekirdeği                                     |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 : JPEG–2000 Standardı.....                                                                                                                                                 | 5  |
| Çizelge 2.2 : 9/7 Analiz filtresi katsayıları.....                                                                                                                                     | 17 |
| Çizelge 2.3 : 9/7 Sentez filtresi katsayıları.....                                                                                                                                     | 18 |
| Çizelge 2.4 : 5/3 Analiz ve Sentez filtresi katsayıları.....                                                                                                                           | 19 |
| Çizelge 2.5 : Örnek katman oluşumu .....                                                                                                                                               | 32 |
| Çizelge 2.6 : Farklı kod bloklarındaki bit düzlemlerinin katılımı ile örnek paket oluşumu .....                                                                                        | 33 |
| Çizelge 2.7 : Önemli İşaretçi Bölümü Tipleri .....                                                                                                                                     | 38 |
| Çizelge 2.8 : JP2 Dosya biçimi kutu tipleri.....                                                                                                                                       | 39 |
| Çizelge 4.1 : Testlerde kullanılan ortak parametreler.....                                                                                                                             | 53 |
| Çizelge A.1 : Maxshift yöntemi ile değişen ROI bölgesi büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. ....                                                               | 74 |
| Çizelge A.2 : Maxshift yöntemi ile kodlama için değişen bit oranı sınırlaması ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. ....                                                  | 75 |
| Çizelge A.3 : Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen ROI bölgesi büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi.....                                                      | 76 |
| Çizelge A.4 : Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi. ....                     | 77 |
| Çizelge A.5 : Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi. ....                     | 78 |
| Çizelge A.6 : Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen bit oranı sınırlaması ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. ....                                                     | 79 |
| Çizelge A.7 : Örtülü ROI kodlama ile değişen kod bloğu büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi .....                                                               | 80 |
| Çizelge A.8 : Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen ROI bölgesi büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. ....                                  | 81 |
| Çizelge A.9 : Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi.....   | 82 |
| Çizelge A.10 : Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi. .... | 83 |
| Çizelge A.11 : Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen bit oranı sınırlaması ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi.....                                  | 84 |
| Çizelge A.12 : Ağırlıklandırılmış örtülü ROI kodlama ile değişen kod bloğu büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi .....                                           | 85 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|            |                                                                                                                                 |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | : JPEG–2000 Kodlayıcı - Kod Çözücü Sistemi Genel Yapısı .....                                                                   | 6  |
| Şekil 2.2  | : Dönüşüm Sistemlerine Genel Bakış .....                                                                                        | 6  |
| Şekil 2.3  | : $x[n]$ girişi için ileri ve geri altbant dönüşümleri. ....                                                                    | 13 |
| Şekil 2.4  | : İki boyutlu altbant dönüşümü için analiz filtre bankası ve geçirme bandı bölgeleri .....                                      | 14 |
| Şekil 2.5  | : D ayrıştırma seviyesi için iki boyutlu ağaç yapılı altbant dönüşümü için filtre bankası yapısı .....                          | 15 |
| Şekil 2.6  | : D=3 düzey için 2 boyutlu ağaç yapılı altbant dönüşümü geçirme bandı dağılımı. ....                                            | 15 |
| Şekil 2.7  | : Üç seviyeli iki boyutlu Ayrık Dalgacık Dönüşümü. ....                                                                         | 16 |
| Şekil 2.8  | : Özet olarak bölümlleme hiyerarşisi .....                                                                                      | 21 |
| Şekil 2.9  | : Referans düzlemi[7].....                                                                                                      | 22 |
| Şekil 2.10 | : Bileşen örneklerinin referans düzleminde örnek XRsiz ve YRsiz parametreleri ile yerleşimleri[7].....                          | 22 |
| Şekil 2.11 | : Referans düzleminin karo parçalarına bölünmesi. ....                                                                          | 23 |
| Şekil 2.12 | : Herhangi bir çözünürlük seviyesi için civar tanımı.....                                                                       | 26 |
| Şekil 2.13 | : Dört karo için b altbandındaki kod blok ve civar tanımları .....                                                              | 26 |
| Şekil 2.14 | : Kod bloğu içerisinde örnek tarama sırası .....                                                                                | 28 |
| Şekil 2.15 | : İçerik seçimi için kullanılan modeller. (a) 4-bağlı , (b) 8-bağlı komşu .....                                                 | 29 |
| Şekil 2.16 | : Bir bileşenin, bir çözünürlük seviyesi için civarlar (precincts) civar içerisindeki kod blok yerleşimi .....                  | 32 |
| Şekil 2.17 | : Kod blok katkılarıyla oluşan bit akışı katmanları. ....                                                                       | 35 |
| Şekil 2.18 | : Kod akışı işaretçi birimi yapısı.....                                                                                         | 37 |
| Şekil 2.19 | : Kod akışı yapısı .....                                                                                                        | 38 |
| Şekil 2.20 | : Dosya biçimi kutu (box) yapısı. ....                                                                                          | 39 |
| Şekil 2.21 | : JPEG–2000 dosya biçimi genel yapısı .....                                                                                     | 39 |
| Şekil 3.1  | : ROI için ölçeklendirme işleminin kod bloğu bit dizisi kesme işlemi sonrası bit düzlemlerine etkisi.....                       | 44 |
| Şekil 3.2  | : ROI Bölgelerinin altbantlara taşınması .....                                                                                  | 44 |
| Şekil 3.3  | : Maxshift yöntemi ile kuantalanmış altbant katsayılarının ötelenmesi.....                                                      | 45 |
| Şekil 3.4  | : ROI Bölgelerinin örtülü kodlama için altbantlara taşınması. ....                                                              | 49 |
| Şekil 4.1  | : Kullanılan ROI bölgeleri ve büyüklükleri. ....                                                                                | 52 |
| Şekil 4.2  | : Maxshift Yöntemi kullanılarak “pedesterian” videosunda değişen ROI büyüklüğünün ortalama PSNR değerine etkisi. ....           | 55 |
| Şekil 4.3  | : Maxshift Yöntemi kullanılarak değişen ROI büyüklüğü ile “pedesterian” ve “blue_sky” videolarında ortalama PSNR değişimi. .... | 55 |
| Şekil 4.4  | : Maxshift ROI kodlama için önplan arkaplan geçişi. ....                                                                        | 56 |
| Şekil 4.5  | : Maxshift Yöntemi kullanılarak değişen bit oranı ile PSNR değişimi. ....                                                       | 57 |
| Şekil 4.6  | : Örtülü ROI kodlama kullanarak değişen ROI büyüklüğü ile PSNR değişimi .....                                                   | 58 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.8</b> : Örtülü ROI kodlama için önplan arkaplan geçişi .....                                                              | 59 |
| <b>Şekil 4.9</b> : Örtülü ROI kodlama kullanılarak değişen bit oranı ile çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimleri. ....          | 60 |
| <b>Şekil 4.10</b> : Örtülü ROI kodlama için kod bloğu büyüklüğünün PSNR değişimine etkisi.....                                       | 61 |
| <b>Şekil 4.11</b> : Seçimli Altbantları kullanarak Maxshift yöntemi uygulaması. ....                                                 | 62 |
| <b>Şekil 4.12</b> : Seçimli Altbantları kullanarak örtülü kodlama yöntemi uygulaması. ....                                           | 63 |
| <b>Şekil 4.13</b> : Detay ağırlıklandırma ile örtülü ROI kodlama yönteminin değişen ROI büyüklüğü ile PSNR farkına etkisi.....       | 64 |
| <b>Şekil 4.14</b> : Detay ağırlıklandırma ile örtülü ROI kodlama yönteminin değişen kod bloğu büyüklüğü ile PSNR farkına etkisi..... | 64 |
| <b>Şekil 4.15</b> : Ağırlıklandırılmış örtülü kodlama için ROI bölgesi - arkaplan geçişi. ....                                       | 65 |

## **MJPEG–2000 İLE İLGİ BÖLGESİ KULLANARAK SIKIŞTIRMA**

### **ÖZET**

Video verisinin sıkıştırılması işlemi sayısal ortamda bu bilginin iletimi için harcanan süreyi ve saklanması için gerekli maliyeti azalttığı için sayısal sistemlerin performansını arttırmaktadır. Günümüzde iletilen verilerin büyük bir kısmını oluşturan videoların iletim esnasında sıkıştırması için bir kodlamaya tabi tutulması kaçınılmazdır.

Videoların iletim için kodlama ve kod çözme işlemlerinin eş zamanlı yürütülmesi istenilen uygulamalarda çerçeveler arası ilişkiden (korelasyondan) yararlanan video sıkıştırma sistemlerinin kullanımı tercih edilmemektedir. Bunun yerine kodlayıcı sistemlerin her çerçeveyi diğer kodlanan ve kodlanacak çerçevelerden bağımsız olarak işlemesi beklenen çerçeve içi kodlama kullanılmaktadır. Günümüzde çerçevelerin birbirinden bağımsız olarak kodlandığı pek çok video kodlama standardı bulunmaktadır. Bu standartlardan biri de en güncel resim kodlama sistemi olan JPEG-2000'i kullanan MJPEG–2000 standardıdır.

JPEG–2000 resim kodlama sistemi sağladığı yüksek sıkıştırma performansı yanı sıra ilgi bölgesi kodlaması gibi pek çok ekstra özellik sağlamaktadır. İlgi bölgesi (ROI) özelliği görüntü içerisinde ilgilenilen alanı öne çıkararak özellikle sınırlı bit oranı uygulamaları için kullanılabilecek bit miktarını ilgili bölgelere göre paylaşmak amacıyla kullanılabilmektedir.

Bu çalışmada JPEG–2000 resim sıkıştırma sistemi için önerilen farklı ROI yöntemlerinin, hedef bit oranı sınırlaması altında çerçeve içi kodlamaya, MJPEG–2000 kullanılarak uygulamaları incelenecektir. İncelenecek ilgi bölgesi yöntemleri farklı uygulama gereksinimlerine göre tercih edilebilmektedir. Çalışmanın sonucunda video için kullanılan bu yöntemlerin karşılaştırılması, objektif ve subjektif kaliteye etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir.



## **CODING WITH MJPEG-2000 USING REGION OF INTEREST**

### **SUMMARY**

Compression of video data can improve performance of digital systems by reducing time and cost for image transmission and storage. Today because of amount of video transferred in digital systems are increasing, compression of video is inevitable.

There are some video transmission applications, which requires encoding and decoding with small time intervals. In the case of these applications video compression methods, which are using only correlations within a frame (intra frame coding), are preferred. With intra frame coding each frame is coded independently from other frames. MJPEG-2000 is one of the intra frame coding video standard which is using the latest image coding system JPEG-2000.

Besides superior image compression performance of JPEG-2000, it's also supporting extra features like resolution scalability and region of interest (ROI) coding. ROI coding is a feature of prominent image coding systems that enables the specification of different coding priorities to certain regions of image. Also within target bitrate specified applications ROI coding can increase bitrate allocation weighting of ROI region.

In this study ROI coding methods, which are proposed for JPEG-2000, are applied to target bitrate specified intra video coding with MJPEG-2000. The methods that will be examined could be preferred for different kinds of applications. With this study, it's been aimed to compare these methods' objective and subjective effects to quality for bitrate bounded intra video coding.



## 1. GİRİŞ

Sayısal ortamda her gün büyük miktarlarda bilgi depolanmakta, işlenmekte ve iletilmektedir. Bu bilgilerin çoğunun sayısal görüntüler olması nedeniyle çeşitli görüntü işleme problemlerine ek olarak iletim ve saklama gereksinimleri de her geçen gün artmaktadır. Bu doğrultuda hareketli görüntülerin (video) sınırlı bant genişliğine sahip ortamlardan iletim zamanını düşürmek ve saklama maliyetini azaltmak için sıkıştırılması gerekmektedir. Sayısal video verisini sıkıştırma işlemi için günümüzde pek çok kodlama yöntemi kullanılmaktadır.

Kodlama ve kod çözme işlemlerinin eş zamanlı yürütülmesi istenilen uygulamalarda çerçeveler arası ilişkiden (korelasyondan) yararlanan video sıkıştırma sistemlerinin kullanımı tercih edilmemektedir. Bunun yerine kodlayıcı sistemlerin her çerçeveyi diğer kodlanan ve kodlanacak çerçevelerden bağımsız olarak işlemesi beklenmektedir. Çerçeve içi kodlama olarak adlandırılan bu yöntemde her çerçeve ayrı bir resim olarak kodlanmaktadır. Dolayısıyla çerçeve içi video kodlama işlemi birbirinden bağımsız çerçevelerin resim olarak kodlanması olarak düşünülebilir.

JPEG-2000 resim kodlama standardı bu çalışma yapıldığı sırada en güncel resim kodlama standardıdır. Sağladığı yüksek sıkıştırma performansı yanı sıra esnek dosya formatı, çözünürlük ölçeklenebilirliği gibi ekstra özellikleri ile önplana çıkmaktadır. Bu özelliklerden bir tanesi de ilgi bölgesi kodlamasıdır. İlgi bölgesi (Region Of Interest, ROI) kodlaması özelliği sıkıştırma ve kodlama işlemleri sırasında seçilen bir bölgenin resim içerisindeki diğer bölgeye oranla daha kaliteli veya daha öncelikli kodlanmasına imkan sağlamaktadır. Bu şekilde kodlayıcı taraf istenilen şekil ve büyüklükteki bir alanı daha yüksek öncelikle kodlanabilir veya iletilebilir hale getirmektedir.

Kodlama sisteminin çıkışındaki veri miktarının sınırlaması için kodlayıcıya hedef bit oranı verilebilmektedir. Hedef bit oranı altında çalışan kodlama uygulamalarında ROI özelliği kullanılması durumunda resim içerisinde bit oranı dağılımı ilgi bölgesine kaydırılıp, bu bölgenin daha kaliteli kodlanması sağlanmaktadır.

Çalışmadaki temel amaç sabit görüntüler için önerilen ROI kodlaması yöntemlerinin hareketli görüntülere uygulamasını incelemek ve karşılaştırmaktır. Bu uygulama için kayıplı (belirli bir bit oranı altında) düşük gecikmeli video kodlama kullanılmış, kodlama sistemi için ise MJPEG–2000 seçilmiştir.

Bölüm 2’de JPEG–2000 görüntü sıkıştırma standardı hakkında genel bilgi verilecektir. Bunun yanı sıra alt bölümlerde görüntü sıkıştırmak için JPEG–2000 sisteminde kullanılan dönüşüm sistemleri, bölümlleme sistemleri ve kodlama sistemlerinden bahsedilecektir. 3. bölümde ise JPEG–2000 için standartta tanımlanan ve farklı çalışmalarda önerilen bazı ROI yöntemlerinden bahsedilecek ve MJPEG–2000 standardı üzerinde durulacaktır. Son bölümde ise sabit görüntüler için tanımlanan ilgi bölgesi yöntemlerinin hedef bit oranı sınırlaması ile video üzerine uygulamaları yapılacak ve sonuçları karşılaştırılacaktır.

## **2. JPEG–2000 GÖRÜNTÜ SIKIŞTIRMA TEMELLERİ VE STANDARDI**

### **2.1 JPEG Hakkında**

JPEG, Joint Photographic Experts Group (Birleşik Fotoğraf Uzmanları Grubu) tarafından standartlaştırılmış bir sayısal görüntü sıkıştırma biçimidir. Grubun ismini alan bu biçim, 1994 yılında ISO 10918–1 [19] ile standartlaşmıştır. JPEG kısaltmasındaki Birleşik (Joint) sözcüğü, standardın ISO/IEC tarafından yayınlamasının yanı sıra ITU-T tavsiyesi olarak çıkmasından dolayı kullanılmıştır.

JPEG standardı, dosyanın sıkıştırılmasını ve açılmasını sağlayan algoritmayı ve algoritmayı içinde barındıran dosya sistemini tanımlar. Ayarlanabilir kayıplı sıkıştırma kullanır.

Bir JPEG dosyasının oluşturulması birbirinden bağımsız çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. İlk aşama görüntünün 8x8 piksel bloklarına ayrıştırılmasıdır. Bundan sonra gerekli olması durumunda RGB renk uzayından parlaklık/krominans renk uzayına dönüştürülen 8x8 bloklara ayrık kosinüs dönüşümü uygulanmaktadır. JPEG–2000 sisteminin de kullandığı renk dönüşümünden ve gerekliliğinden ilerleyen bölümlerde bahsedilecektir.

Dönüşüm uygulanan 8x8 bloklar daha önceden hazırlanan kuantalama tabloları kullanılarak kuantalanır ve bu aşamada bilgi kaybı gerçekleşir. Kuantalama işleminin doğası nedeniyle JPEG kayıplı bir sıkıştırma işlemidir, dolayısıyla JPEG verisinden okunan görüntü ile veriyi yaratmak için kullanılan görüntü aynı değildir. Görüntünün yeniden elde edilmesi işlemi de benzer şekilde ters kuantalama ve ters ayrık kosinüs dönüşümü uygulanarak yapılmaktadır.

### **2.2 JPEG–2000 Standardının Ortaya Çıkışı**

JPEG–2000 projesi Ricoh tarafından kayıpsız yakın (near-lossless) sıkıştırma için ortaya konan ve JPEG-LS için önerilen CREW algoritması [2], [3] başvurusu ile doğmuştur. Bu algoritmanın sağladığı yeni özellikler, yeni bir resim sıkıştırma standartlaştırmasına ihtiyaç duyulabileceğini göstermiştir. Bu doğrultuda WG1

(ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1, ISO/IEC Birleşik Teknik Komitesinin 29. Araştırma Komitesinin 1. Çalışma Grubu) tarafından JPEG–2000 olarak isimlendirilen proje için yeni bir çalışma alanı oluşturulmuştur. WG1 tarafından yeni sıkıştırma teknolojilerinin önerilmesi için Mart 1997 de yapılan katkı çağrısı [1] içerisinde JPEG–2000 için istenilen özellikler yer almakta idi. Bu özellik kümesinin en önemlileri aşağıda listelenmiştir.

Yeni bir standarda ihtiyaç duyulmasının temel amacı JPEG standardındaki eksikliklerin giderilmesi ve JPEG standardına yeni özellikler eklenmesiydi. Bu doğrultuda ortaya çıkan temel gereksinimleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Düşük bit hızı için hem nesnel ve hem de öznel olarak daha yüksek kaliteli görüntü sağlanması.
- Tek ve birleşik bir yapı içerisinde daha verimli kayıpsız ve kayıplı kodlama imkanı sağlanması.
- Çözünürlük ölçeklenebilirliği, farklı çözünürlüklere aynı kod akışı üzerinden erişim sağlanabilmesi.
- Bit hızı ölçeklenebilirliği, ilgi bölgesi kodlaması gibi ek özellikler sağlanması.
- Sıkıştırılmış resim üzerinde değişiklik yapma. (örn. çevirme, ölçekleme, vs...)
- Farklı uygulamalarda kullanabilmek üzere daha esnek bir dosya formatı oluşturulması
- Fazla bellek kullanımı ve hesap karmaşıklığının engellenmesi

Listelenilen özelliklerin hepsi 3 yıllık çalışma süresinin sonunda JPEG–2000 standardı ile desteklenmiştir. 2000 yılında sunulan ve temel kodlama sistemini tanımlayan ilk standart ISO 15444–1[7] 2001 yılında kabul edilip onaylanmıştır. Standardın ilerleyen yıllarda ortaya çıkan ve çalışmaların devam ettiği kısımları Çizelge 2.1’de listelenmiştir.

JPEG–2000 bu çalışma yapıldığı sırada halen en güncel resim sıkıştırma standardıdır.

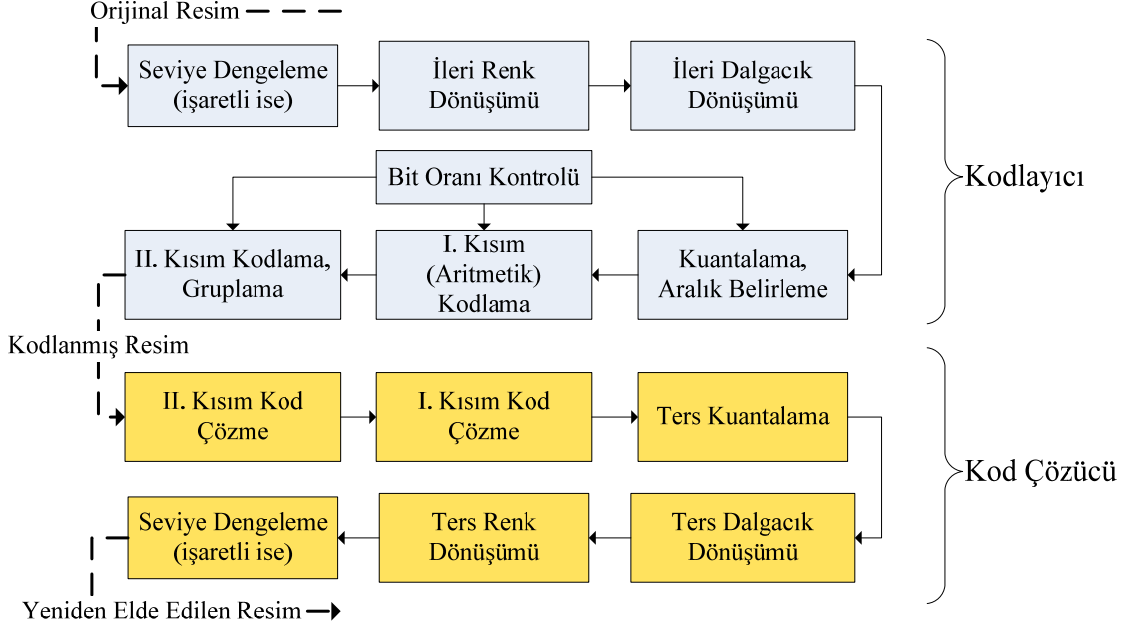
**Çizelge 2.1 : JPEG–2000 Standardı**

| Kısım | Başlık                            | Referans           |
|-------|-----------------------------------|--------------------|
| 1     | Temel Kodlama Sistemi             | [7]                |
| 2     | Eklentiler                        | [9]                |
| 3     | MJPEG-2000 (Hareketli JPEG-2000)  | [17]               |
| 4     | Uygunluk Testleri                 | [37]               |
| 5     | Referans Yazılım                  | [38]               |
| 6     | Birleşik Resim Dosya Formatı      | [39]               |
| 8     | Güvenli (Secure) JPEG-2000        | [40]               |
| 9     | İnteraktif araçlar ve protokoller | [41]               |
| 10    | 3 Boyutlu Veri                    | [42]               |
| 11    | Kablosuz                          | [43]               |
| 12    | ISO Temel Medya Dosya Formatı     | [18]               |
| 13    | Giriş Düzeyi JPEG-2000 kodlayıcı  | Çalışma Aşamasında |

### 2.3 Genel Özellikler

JPEG–2000 kodlayıcı-kod çözücü sistemi dalgacık, altbant dönüşüm temellerine ve EBCOT (Optimum Bölmeli Gömülü Blok Kodlama, Embedded Block Coding with Optimal Truncation) tabanlı kodlama sistemine dayanmaktadır. Aynı dönüşüm altyapısını kullanarak kayıplı ve kayıpsız kodlamaya / kod çözme imkanı sağlanmaktadır. Verimli bir şekilde kayıplı ve kayıpsız kodlama yapılabilmesi için tersine çevrilebilir tamsayı-tamsayı dönüşümü ve tersine çevrilemez reel-reel dönüşümü kullanılmaktadır. Dönüşüm verisinin kodlanması için bit-düzlem kodlama teknikleri tercih edilmiştir. JPEG de kullanılan Huffman kodlayıcı yerine entropi kodlama JBIG2 standardı ile tanımlanan ve bir CABAC (İçerik Uyumlu İkili Aritmetik Kodlama, Context Based Adaptive Binary Coder,) [4] yöntemi olan MQ kodlayıcı [5] kullanılmaktadır.

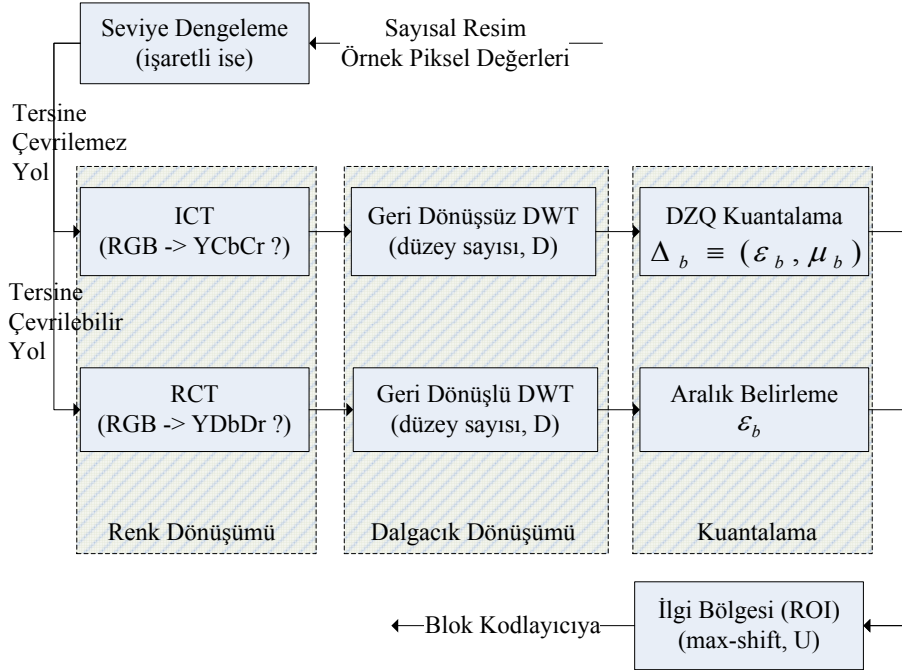
Şekil 2.1’de gösterilen JPEG–2000 kodlayıcı/kod çözücü sisteminden genel olarak ilerleyen bölümlerde bahsedilecektir. Sistem yapısı sırasıyla kullanılan dönüşüm sistemleri, örneklerini ayırma, gruplama sistemleri ve kodlama sistemleri açısından incelenecektir.



**Şekil 2.1 : JPEG-2000 Kodlayıcı - Kod Çözücü Sistemi Genel Yapısı**

## 2.4 Dönüşüm Sistemleri

JPEG-2000 standardının 1. kısmında [7] görüntü sıkıştırmak için resmin sayısal örnekleri üzerine uygulanacak bir dizi dönüşüm sistemi tanımlanmıştır. Temel amaç kodlama sistemine (blok kodlayıcı) iletilecek olan kuantalanmış altbant dönüşüm katsayılarını elde etmek olarak tanımlanabilir.



**Şekil 2.2 : Dönüşüm Sistemlerine Genel Bakış**

Şekil 2.2’de kullanılan çeşitli dönüşümler ve sistem içerisindeki dönüşümlerin davranışlarına etkiyen temel parametreler kabaca gösterilmektedir.

Şekil 2.2’de tanımlanan kullanılması gereken temel dönüşümler Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transformation, DWT) ve Ölübölge Skalar Kuantalama (Deadzone Scalar Quantization, DZQ). Bu dönüşümlerin yanı sıra tanımlanan zorunlu olmayan ek dönüşümlerin temel görevlerini şu şekilde özetleyebiliriz.

**Seviye Dengeleme:** Sistemin girişi olan kodlanacak sayısal resimdeki örnek piksel değerlerinin örnek başına B bit ile ifade edildiğini düşünürsek, bu örneklerin işaretli pozitif değerlerle ifade edilmesi durumunda piksel değerlerini işaretli değerler olarak ifade edebilmek için bir ofset değeri çıkarılması gerekecektir (2.1).

$$-2^{B-1} \leq x[n] \leq 2^{B-1} \quad (2.1)$$

Orijinal resimde örnek piksel değerleri işaretli olarak ifade edilmişse bu dönüşüme ihtiyaç bulunmamaktadır. Eğer orijinal resim birden fazla bileşenden oluşuyorsa (örneğin renk bileşeni) bu dönüşüm farklı bileşenler için bağımsız olarak uygulanabilmektedir. Bu durum ilerleyen bölümde anlatılacak olan JPEG–2000 kodakışı (code-stream) içerisindeki SIZ belirleyicisindeki bir bitlik etiket ile ifade edilmektedir.

Bu dönüşüm tercihen kullanılmaktadır ve kullanılmasıdaki temel amaç ayrık dalgacık dönüşümünün 0 çevresinde simetrik dağılım gösteren değerlere uygulanmasını sağlamaktır. Bu dengeleme yapılmadan dalgacık dönüşümü sonrasındaki son altbantta ( $LL_D$ ) oluşacak düzensizlik çözücü tarafında standart olarak giderilememektedir.

**Renk Dönüşümü:** Bu dönüşüm tercihen kullanılmakla beraber kodlanacak resmin en az 3 renk bileşeni içermesi ve bu bileşenlerin eşit büyüklükte ve bit derinliklerine sahip olması durumunda kullanılabilmektedir. İlk 3 bileşenin kırmızı, yeşil ve mavi renk bileşenlerini içerdiği varsayımı ile hareket edip bu bileşenlerin parlaklık (Y) bileşeni ve 2 renk farkı bileşeni olarak ifade edilmesini sağlamaktadır. Bu dönüşümdeki temel amaç renk bileşenleri arasındaki korelasyonu azaltıp kodlama verimliliğini arttırmaktır.

**İlgi Bölgesi (Region Of Interest, ROI):** JPEG–2000 standardı sıkıştırma ve kodlama işlemleri sırasında seçilen bir bölgenin veya örneklerin resim içerisindeki diğer bölgelere veya örneklere oranla daha kaliteli veya daha öncelikli kodlanmasına imkan sağlamaktadır. Kodlama öncesindeki herhangi bir bölgenin öne çıkarılabilmesi için ilgili altbant örneklerinin kuantalama indeksleri ölçeklendirilebilmektedir. Bu işlem bu örneklerin kuantalama adım aralıklarının azaltılmasını sağlamaktadır. İkinci bir yöntem ise öne çıkarılacak bölgenin kodlanmış bloklarını önceliklendirme imkanı sağlamaktadır.

Şekil 2.2’de tersine çevrilebilir ve tersine çevrilemez olmak üzere iki temel dönüşüm yolu gösterilmiştir. Tersine çevrilebilir yol  $x[n]$  ile ifade edilen resim içerisindeki B bitlik örnek piksel değerlerini tekrar elde edilebilir tamsayı altbant tahmin değerlerine dönüştürür. Bu durumda kuantalama kullanılmaz ve ayırık dalgacık dönüşümü doğrusal olmayan kaldırma (lifting) adımları kullanılarak uygulanmalıdır. Renk dönüşümü ise tersine çevrilebilir yol için benzer doğrusal olmayan dağılım içermektedir. Tersine çevrilebilir yol kayıpsız kodlama için kullanılmak zorundadır. Bununla beraber kayıpla kodlamaya da uygulanabilir.

Tersine çevrilemez yol ise kuantalama öncesine tamamen doğrusaldır. Bu şekilde istenilen kuantalama adımları seçilmesine olanak sağlamaktadır. Tersine çevrilebilir dönüşümden farklı olarak bu özellik örnek değerlerinin ölçeklendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin örnek değerlerini belli bir skalar değer ile çarpıp kuantalama adım aralığını bu değere göre ölçeklersek blok kodlayıcıya iletilecek kuantalanmış değerler etkilenmeyecektir. Bununla beraber tersine çevrilemez yol için reel olarak kullanılan örnek değerleri normalize edilmiş ( $2^B$  ile bölünüp) olup birim aralıkta bulunmaktadır (2.2).

$$-\frac{1}{2} \leq x[n] \leq \frac{1}{2} \quad (2.2)$$

#### 2.4.1 Renk dönüşümleri

Daha öncede bahsedildiği gibi bu dönüşüm zorunlu olmayıp  $x_0[n], x_1[n], x_2[n]$  şeklinde ifade edilen resmin ilk 3 renk bileşenine uygulanabilmektedir. Bu bileşenler eşit boyutlarda ve eşit bit derinliklerine sahip olup, renkli resmin kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) renk bileşenlerini içermelidirler. JPEG–2000 kod-akışı renk

bilgisinden bağımsız olduğu için renk bileşenlerin bu şekilde olma zorunluluğu yoktur.

#### 2.4.1.1 Tersine çevrilemez renk dönüşümü (ICT)

Bu dönüşüm sisteme giriş olarak alınacak tüm örnek bileşen piksel değerlerine uygulanmaktadır. Dönüşüm doğrusal olup aşağıda 3 temel ağırlıklandırma değeri (2.3) ve (2.4) ilişkileri tanımlanmaktadır.

$$\alpha_R = 0,299, \alpha_G = 0,587, \alpha_B = 0,114 \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} x_Y[n] &= \alpha_R x_R[n] + \alpha_G x_G[n] + \alpha_B x_B[n] \\ x_{Cb}[n] &= \frac{0,5}{1-\alpha_B} (x_B[n] - x_Y[n]) \\ x_{Cr}[n] &= \frac{0,5}{1-\alpha_R} (x_R[n] - x_Y[n]) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Burada  $x_R[n]$ ,  $x_G[n]$  ve  $x_B[n]$  bileşen değerleri, seviye dengelemesi için ötelenmiş ve normalize edilmiş olup ayrı ayrı birim aralıkta ( $x_0[n], x_1[n], x_2[n] \in \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$ ) bulunmaktadır.

Dönüşüm işlemi matris vektör çarpımı olarak da ifade edilebilmektedir (2.5).

$$\begin{bmatrix} x_Y[n] \\ x_{Cb}[n] \\ x_{Cr}[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,168736 & -0,331264 & 0,5 \\ 0,5 & -0,418688 & -0,081312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R[n] \\ x_G[n] \\ x_B[n] \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Dönüşüm sonrasında oluşan  $Y, Cb$  ve  $Cr$  renk bileşenlerinin de birim aralıkta bulunduğu görülmektedir.

Çözücü tarafta R, G v B renk bileşenlerini elde etmek için uygulanacak dönüşüm ise şu şekilde tanımlanmaktadır (2.6):

$$\begin{bmatrix} x_R[n] \\ x_G[n] \\ x_B[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1,402 \\ 1 & -0,344136 & -0,714136 \\ 1 & 1,772 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_Y[n] \\ x_{Cb}[n] \\ x_{Cr}[n] \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Tersine çevrilemez dönüşümde altbant dönüşüm katsayıları için kullanılan kuantalama sonucu yaşanan bozulma nedeniyle çözücü tarafta elde edilen renk bileşenlerinin birim aralıkta olma garantisi yoktur. Standard içerisinde geri elde edilen ve birim aralıkta bulunmayan bileşen değerleri için bir tanımlama bulunmamakla beraber çözücü uygulamalarında elde edilen R,G,B bileşenleri için ifade edilebilir en yakın değere yuvarlama en yaygın kullanılan yöntemdir.[6]

#### 2.4.1.2 Tersine çevrilebilir renk dönüşümü (RCT)

Doğrusal olan bu dönüşüm aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (2.7). Temel amacı ve avantajı giriş değerlerinin tam olarak yeniden elde edilebilir olmasıdır.

$$\begin{aligned} x_{Y'}[n] &= \left\lfloor \frac{x_R[n] + 2x_G[n] + x_B[n]}{4} \right\rfloor \\ x_{Db}[n] &= x_B[n] - x_G[n] \\ x_{Dr}[n] &= x_G[n] - x_R[n] \end{aligned} \quad (2.7)$$

Renk dönüşümünün giriş değerleri olan  $x_R[n]$ ,  $x_G[n]$  ve  $x_B[n]$  değerleri seviye dengelemesi için ötelenmiş olan  $x_0[n]$ ,  $x_1[n]$  ve  $x_2[n]$  giriş bileşenleri örnek değerleridir ve  $-2^{B-1}$  ile  $2^{B-1} - 1$  aralığındaki B bitlik işaretli tamsayı değerleri içerir. Burada dikkat edilmesi gereken dönüşüm sonrası Y' bileşeni yine B bit ile ifade edilebilirken  $D_b$  ve  $D_r$  fark bileşenleri B+1 bit ile ifade edilebilir haldedir. [6]

#### 2.4.2 Dalgacık dönüşümü

Kodlama sürecinde altbant ayrıştırması kullanılmasının temel nedeni dönüşüm sonrası elde edilen altbant işaretlerinin istatistiksel dağılımı kodlayıcının daha verimli kullanılabilmesini sağlamasıdır.

[10] ve [11] çalışmalarında bahsedilen tersine çevrilebilir tamsayı-tamsayı dönüşümü ve tersine çevrilemez reel-reel dalgacık dönüşümü standartta [7] tanımlanan temel kodlayıcı kod çözücü sistem tarafından kullanılmaktadır.

Bu bölümde JPEG-2000 kodlama sisteminde bir araç olarak kullanılan iki boyutlu Ayrık Dalgacık Dönüşümünün (ADD) genel yapısından bahsedilecek ve sistemde kullanılan dalgacık dönüşümün parametreleri verilecektir.

### 2.4.2.1 Temel kavramlar

İki boyutlu ADD' yi incelemeden önce temelinde yatan tek boyutlu altbant dönüşümünü ele alacağız. Tek boyutlu dönüşüm kabaca sonlu uzunluklu ayırık bir  $x[n]$  dizisinin  $y_0[n]$  ve  $y_1[n]$  olmak üzere 2 alt banda ayrıştırılmasıdır. İlk dizi alçak geçiren altbant olarak algılanıp, oluşturulması için alçak geçiren filtreleme ve sonucunda örnekleme yapılmaktadır. Benzer şekilde  $y_1[n]$  ise yüksek geçiren altbant değerlerini içermektedir. Yine kabaca altbant dönüşümünü belli bir aralıkta ( $E \leq x[n] < F$ ) tanımlı  $x[n]$  dizisinin ayrıştırılmış altbantlarının tekrar birleştirilmesiyle oluşturulan yine aynı aralıkta tanımlı  $y[n]$  dizisine karşılık düşürülmesi olarak tanımlayabiliriz.

(2.8) eşitlikleri ile tanımlanan  $\tilde{x}[n]$ ,  $x[n]$  dizisinin sonsuz uzunluklu simetrik uzantısıdır. Benzer şekilde  $\tilde{y}[n]$  ise aynı ilişki ile  $y[n]$  dizisinin simetrik uzantısıdır.

$$\begin{aligned}\tilde{x}[n] &= x[n], E \leq n < F \\ \tilde{x}[E-n] &= \tilde{x}[E+n], \forall n \in Z \\ \tilde{x}[F-1-n] &= \tilde{x}[F-1+n], \forall n \in Z\end{aligned}\tag{2.8}$$

Buna göre simetrik uzantı dizileri ile ileri ve geri altbant dönüşümleri aşağıdaki zamanla değişen konvolüsyon ifadeleri ile tanımlanmaktadır (2.9).

$$\begin{aligned}\tilde{y}[i] &= \sum_{i \in Z} h'_{n \bmod 2}[i] \tilde{x}[n-i] \\ \tilde{x}[n] &= \sum_{i \in Z} \tilde{y}[i] g'_{n \bmod 2}[n-i]\end{aligned}\tag{2.9}$$

Burada  $h'_0[n]$  ve  $h'_1[n]$  “dönüştürülmüş” alçak geçiren ve yüksek geçiren analiz filtresi impuls cevaplarını ifade etmektedir. Benzer şekilde  $g'_0[n]$  ve  $g'_1[n]$  “dönüştürülmüş” sentez filtresi impuls cevaplarıdır (2.10). Bu bölümden itibaren standarda uyumluluk açısından “dönüştürülmüş” impuls cevabı ifadesi yerine dalgacık çekirdeği (wavelet kernel) ifadesi kullanılacaktır. Analiz (ileri dönüşüm) çekirdekleri  $h'_b[n]$  ve sentez (ters dönüşüm) çekirdekleri  $g'_b[n]$  tek sayı uzunluklu,  $n=0$  çevresinde simetrik dağılımlı dizilerdir (2.11).

$$h'_b[n] = h'_b[n-b], g'_b[n] = g'_b[n+b]\tag{2.10}$$

$$h_b^t[n] = h_b^t[-n], g_b^t[n] = g_b^t[-n], b \in \{0,1\} \quad (2.11)$$

Bununla beraber analiz ve sentez çekirdekleri birbirlerine aşağıdaki eşitlikle bağlıdır (2.12).

$$\begin{aligned} g_0^t[n] &= \alpha^{-1} (-1)^n h_1^t[n] \\ g_1^t[n] &= \alpha^{-1} (-1)^n h_0^t[n] \end{aligned} \quad (2.12)$$

Burada  $\alpha$  kazanç faktörü olup şu şekilde ifade edilir (2.13):

$$\alpha = \frac{1}{2} (h_0^{dc} h_1^{nyq} + h_1^{dc} h_0^{nyq}) \quad (2.13)$$

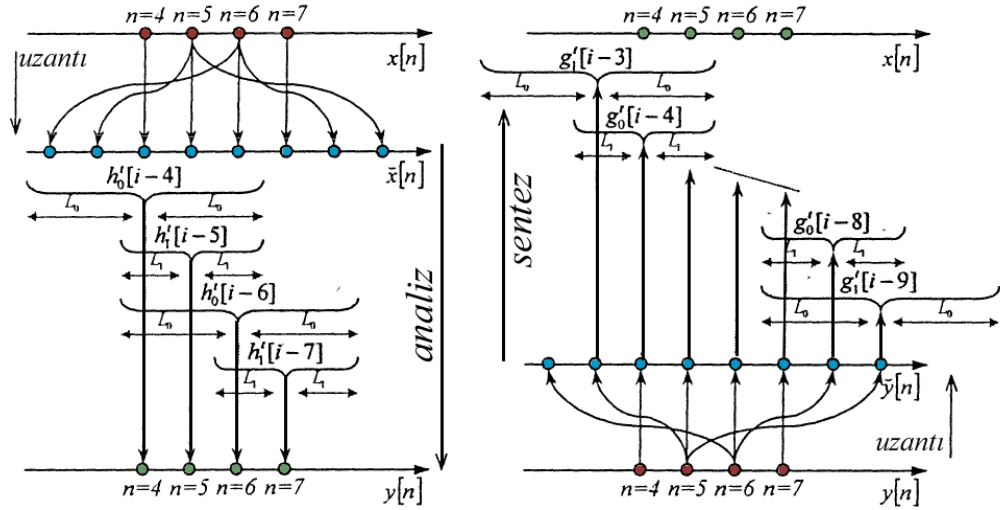
Eşitlikteki  $h_b^{dc}$  ve  $h_b^{nyq}$  değerleri analiz filtresinin DC ve Nyquist kazançlarıdır (2.14).

$$h_b^{dc} = \sum_n h_b^t[n] \text{ ve } h_b^{nyq} = \sum_n (-1)^n h_b^t[n] ; b=0,1 \quad (2.14)$$

Bu tanımlamalar ışığında ADD için analiz çekirdekleri  $h_0^t[n]$  ve  $h_1^t[n]$  'nin sağlanması durumunda  $\tilde{x}[n]$  ve  $\tilde{y}[n]$  arasında dönüşüm sistemi oluşturulabilmektedir. Analiz çekirdeğinin alçak geçiren ve yüksek geçiren bileşenlerinin uzunluklarını  $2L_0 + 1$  ve  $2L_1 + 1$  olarak tanımlarsak (2.9) eşitliğindeki analiz (ileri dönüşüm) ifadesini yeniden şu şekilde düzenleyebiliriz (2.15):

$$\begin{aligned} \tilde{y}[n] &= \sum_{i=-L_n \bmod 2}^{L_n \bmod 2} h_{n \bmod 2}^t[i] \tilde{x}[n+i] \\ &= \sum_{i=n-L_n \bmod 2}^{n+L_n \bmod 2} \tilde{x}[i] h_{n \bmod 2}^t[i-n] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dönüşüm sonunda  $y[n]$  dizisi hesaplanan  $\tilde{y}[n]$  uzantısının  $E \leq n < F$  aralığındaki tanımıdır. Benzer şekilde ileri yönde dönüşüm  $\tilde{x}[n]$  uzantısının  $L_{\max} = \max \{L_0, L_1\}$  olmak üzere  $E - L_{\max} \leq n < F + L_{\max}$  aralığındaki tanımına ihtiyaç duymaktadır.  $L_0 = 2$  ve  $L_1 = 1$  simetrik filtre uzunlukları için örnek analiz ve sentez işlemleri Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 :  $x[n]$ <sup>1</sup> girişi için ileri ve geri altbant dönüşümleri.

#### 2.4.2.2 İki boyutlu ADD (2D DWT) ve çözünürlük seviyeleri

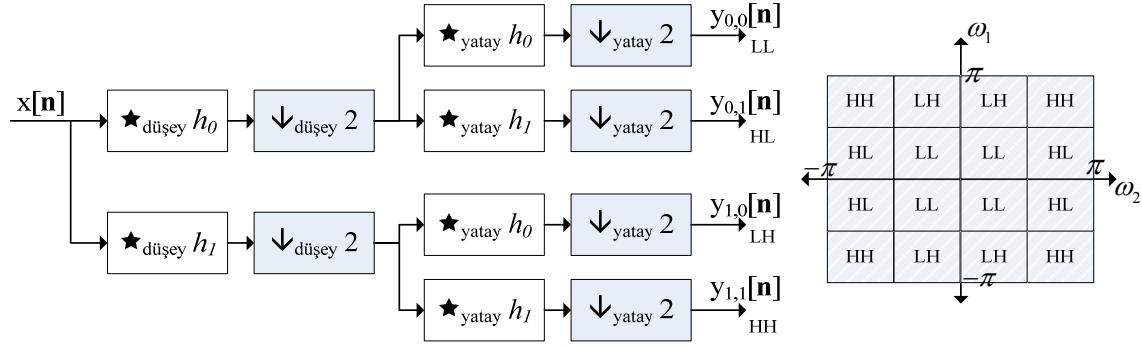
Bir önceki bölümde tanımladığımız tek boyutlu iki kanallı ADD temellerini kullanarak D düzeyden oluşan iki boyutlu Ayrık Dalgacık Dönüşümünü tanımlayabiliriz. Tek bir 2B ADD düzeyi iki boyutlu bir diziye (resim bileşenine) önce sütun sonrada satır olarak altbant dönüşümü uygulaması olarak düşünülebilir. Başka bir deyişle iki boyutlu  $x[n]$  dizisinin  $y_{0,0}[n]$ 'den  $y_{1,1}[n]$ 'e kadar dört altbanda ayrıştırılmasıdır. Burada  $x[n] \equiv x[n_1, n_2]$  olmak üzere sonlu uzunluklu ayrık dizi olup tanım aralığı,  $n_1$  ve  $n_2$  satır ve sütun indislerini ifade etmek üzere  $E_1 \leq n_1 \leq F_1$ ,  $E_2 \leq n_2 \leq F_2$  olarak tanımlanır. Dönüşüm sonucu oluşan  $y[n]$ , altbantların girişimi (interleaving) olarak şu şekilde tanımlanır (2.16):

$$y[2n_1 + b_1, 2n_2 + b_2] = y_{b_1, b_2}[n_1, n_2], \quad b_1, b_2 \in \{0, 1\} \quad (2.16)$$

Buna göre  $y[n]$ ,  $x[n]$  dizisinin önce sütunlarına sonrasında satırlarına uygulanan tek boyutlu altbant dönüşümü sonucu bu altbantların girişimi ile oluşturup  $x[n]$  ile aynı tanım aralığına sahip olur. Şekil 2.4'de tek aşamalı dönüşüm sonrası dört altbandın oluşumu gösterilmektedir. Bu bandlardan  $y_{0,0}[n]$  alçak geçiren analiz çekirdeğinin hem düşey hem de yatay yönde  $x[n]$  girişine uygulanması sonucu oluşturulmakta ve LL altbandı olarak adlandırılmaktadır. Benzer şekilde  $y_{0,1}[n]$  için düşeyde alçak

<sup>1</sup> ( $E=4 \leq n < F=8$ )

geçiren, yatayla yüksek geçiren analiz çekirdekleri uygulanmakta ve HL altbandı (yatay yüksek geçiren) oluşturulmaktadır. Diğer altbantlarda düşeyde yüksek geçiren, yatayda alçak ve yüksek geçiren analiz çekirdekleri ile oluşturulup LH altbandı ve HH altbandı olarak adlandırılır.



**Şekil 2.4** : İki boyutlu altbant dönüşümü için analiz filtre bankası ve geçirme bandı bölgeleri

Dönüşüm sonrasında elde edilen tüm altbantlar aynı örnekleme hızına sahip ve geçirme bandı büyüklükleri özdeşdir. Dolayısıyla altbant dönüşümü “uniform” (düzenli) olarak nitelendirilir. “Uniform” altbant dönüşümlerinden farklı olarak, altbantlardan birine ayrıştırma işleminin özyinelemeli olarak uygulanması sonucunda ağaç yapılı dönüşüm elde edilebilmektedir. Bu yineleme için alçak (düşey ve yatay) geçiren filtreleme sonucu elde edilen altbant (LL) seçilmiştir.

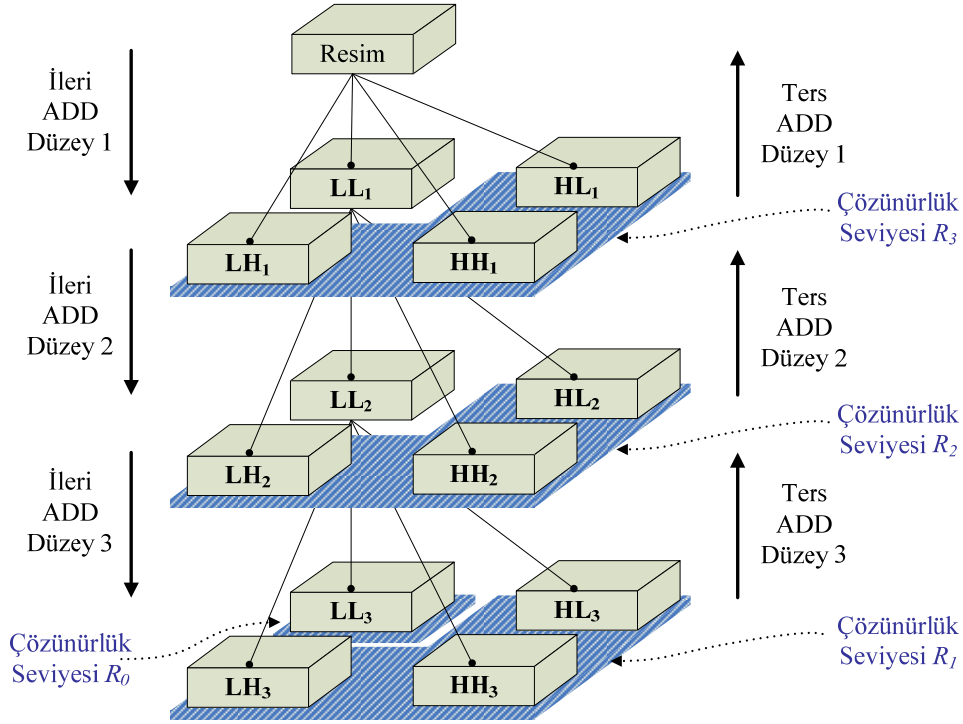
Özyinelemeli dönüşümün D seviye devam ettirilmesi durumunda geçirme bölgeleri dağılımları farklı olan  $3D+1$  altbant oluşmaktadır. Dört altbant bileşeninin elde edildiği her dönüşüm işlemi ayrıştırma seviyesi (decomposition level) olarak adlandırılır. **Şekil 2.5**'de iki boyutlu ağaç yapılı filtre bankası örneği ve **Şekil 2.6**'de geçirme bandı dağılımları gösterilmektedir.

Bu ayrıştırma adımlarının sonucu oluşan LL altbant bileşeni orijinal resmin daha düşük çözünürlüklü halidir. **Şekil 2.5**'de ağaç yapılı altbant dönüşümü ile elde edilen  $LL_d$  olarak gösterilen altbantlar alt çözünürlükler olarak nitelendirilebilir. Her ne kadar  $LL_D$  haricindeki LL altbant bileşenleri ayrıştırma adımları ara işlemleri olsa da  $d=1,2,...,D$  iken  $LL_d$  için örnekleme yoğunluğu orijinal resmin yatay ve düşey yönde  $2^d$  katıdır.



Herhangi bir altbant  $y_{b_1, b_2}^{(d)}[n]$  için tanım aralığı, (2.17) eşitliği tekrarlamalı olarak uygulanarak şu şekilde elde edilir (2.18):

$$E_i^{[b_1, b_2]_d} = \left\lceil \frac{E_i - 2^{d-1} b_i}{2^d} \right\rceil, \quad F_i^{[b_1, b_2]_d} = \left\lceil \frac{F_i - 2^{d-1} b_i}{2^d} \right\rceil \quad (2.18)$$



Şekil 2.7 : Üç seviyeli iki boyutlu Ayırık Dalgacık Dönüşümü.

Ters dönüşüm için ileri yöndeki son ADD aşamasından başlayarak D seviye için ters ADD uygulanır. Son seviyeden itibaren  $r$  ADD düzeyinin ters dönüşümü sonrasında kod çözücü orijinal resmin bir alt çözünürlüğü olan  $LL_{D-r} = y_{0,0}^{(D-r)}[n]$  dizisini elde etmektedir. Buna göre  $LL_{D-r}$  altbant bileşeni resmin  $r$ . çözünürlüğünü ifade etmektedir.  $r=0$  çözünürlüğü resmin ulaşılabilir en düşük çözünürlüğü olup  $r=D$  orijinal resmin çözünürlüğüdür. (2.18) eşitliğinde  $b_1=b_2=0$  konularak  $y_{0,0}^{(D-r)}[n]$  için tanım aralığı elde edilebilir.

Resmin  $LL_{r-1}$  çözünürlüğünü kullanarak  $LL_r$  çözünürlüğünü elde etmek için gerekli altbant bileşenleri  $R_r$  “çözünürlük seviyesi” olarak adlandırılmaktadır. Çözünürlük seviyesi ADD düzeyi arasındaki ilişki Şekil 2.7’da gösterilmektedir. Burada  $D+1$  çözünürlük seviyesi olup,  $R_0$  düzeyi sadece  $LL_D$  altbandını içermektedir.

### 2.4.2.3 Tersine çevrilemez ADD

Tersine çevrilemez yol üzerinde ADD aşaması öncesinde giriş değerleri normalize edilip  $-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$  aralığına indirgendiğinden bahsedilmiştir. ADD aşamasında da bu özelliğinin korunması için analiz çekirdekleri de normalize edilmiştir (2.19).

$$h_0^{dc} = \sum_{n=L_0}^{L_0} h_0^t[n] = 1, \quad h_1^{nyq} = \sum_{n=L_1}^{L_1} (-1)^n h_1^t[n] = 1 \quad (2.19)$$

Burada  $h_0^{dc}$  alçak geçiren altbant filtresinin “nominal kazancı” olarak adlandırılıp,  $h_1^{nyq}$  yüksek geçiren filtrenin nominal kazancıdır. Kazanç değerleri 1 seçilerek altbant örneklerinin nominal aralıklarının korunması beklenmedir.

JPEG–2000 tersine çevrilemez mod için Cohen-Daubechies-Feauveau (CDF) 9/7 [8] çekirdeğini desteklemektedir [7]. Analiz (ileri dönüşüm) için alçak geçiren filtre uzunluğu 9, yüksek geçiren filtre uzunluğu 7 olup katsayıları Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.2 : 9/7 Analiz filtresi katsayıları.**

| Analiz Filtresi Katsayıları |                         |                          |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| i                           | Alçak Geçiren: $h_0(i)$ | Yüksek Geçiren: $h_1(i)$ |
| 0                           | 0,6029490182363579      | 1,115087052456994        |
| $\pm 1$                     | 0,2668641184428723      | -0,5912717631142470      |
| $\pm 2$                     | -0,07822326652898785    | -0,05754352622849957     |
| $\pm 3$                     | -0,01686411844287495    | 0,09127176311424948      |
| $\pm 4$                     | 0,02674875741080976     |                          |

ADD çekirdeklerinin temel biortogonal dalgacık dönüşümüne ait olması için gerekli bir koşul olarak  $h_0^{nyq} = h_1^{dc} = 0$ ’dir. Buna göre formül (2.13)’teki  $\alpha$  katsayısı  $\frac{1}{2}$  olup (2.12)’i kullanıp sentez (ters dönüşüm) filtre katsayıları elde edildiğinde Çizelge 2.3 elde edilir.

**Çizelge 2.3 : 9/7 Sentez filtresi katsayıları.**

| Sentez Filtresi Katsayıları |                         |                          |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| i                           | Alçak Geçiren: $g_0(i)$ | Yüksek Geçiren: $g_1(i)$ |
| 0                           | 1,115087052456994       | 0,6029490182363579       |
| $\pm 1$                     | 0,5912717631142470      | -0,2668641184428723      |
| $\pm 2$                     | -0,05754352622849957    | -0,07822326652898785     |
| $\pm 3$                     | -0,09127176311424948    | 0,01686411844287495      |
| $\pm 4$                     |                         | 0,02674875741080976      |

JPEG–2000 standardının uzantısı olan 2.kısım ISO 15444–2 [9] özel dalgacık çekirdeklerinin de desteklenmesini sağlamaktadır.

#### 2.4.2.4 Tersine çevrilebilir ADD

Tersine Çevrilebilir ADD için (2.20a) eşitliğinde gösterilen dalgacık dönüşüm çifti doğrusal olmayan bir şekilde tamsayı-tamsayı dönüşümü için kullanılmaktadır.

Bu dönüşüm ilk olarak [15]’de ortaya konmuştur. JPEG–2000 standardı 1. kısım içerisinde tersine çevrilemez dönüşüm için 5/3 [11] ADD seçilmiştir. Analiz işlemi şu şekilde tanımlanmaktadır **(2.20a)**:

$$\begin{aligned}\tilde{y}_1[n] = \tilde{y}[2n+1] &= \tilde{x}[2n+1] + \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \tilde{x}[2n] - \frac{1}{2} \tilde{x}[2n+2] \right] \\ &\cong \tilde{x}[2n+1] - \frac{1}{2} (\tilde{x}[2n] - \tilde{x}[2n+2])\end{aligned}\tag{2.20a}$$

$$\begin{aligned}\tilde{y}_0[n] = \tilde{y}[2n] &= \tilde{x}[2n] + \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \tilde{y}[2n-1] + \frac{1}{4} \tilde{y}[2n+1] \right] \\ &\cong \tilde{x}[2n] + \frac{1}{4} (\tilde{y}[2n-1] + \tilde{y}[2n+1])\end{aligned}\tag{2.21b}$$

Buradan yola çıkarak analiz ve sentez filtre katsayıları Çizelge 2.4’de verilmektedir.

**Çizelge 2.4 : 5/3 Analiz ve Sentez filtresi katsayıları.**

|         | Analiz             |                    | Sentez             |                    |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| i       | AG Filtre $h_0(i)$ | YG Filtre $h_1(i)$ | AG Filtre $g_0(i)$ | YG Filtre $g_1(i)$ |
| 0       | 6/8                | 1                  | 1                  | 6/8                |
| $\pm 1$ | 2/8                | -1/2               | 1/2                | -2/8               |
| $\pm 2$ | -1/8               |                    |                    | -1/8               |

### 2.4.3 Kuantalama ve aralık belirleme

Bu aşamada altbant dönüşümü sonrasında oluşan katsayılar (örnekler) kuantalama indislerine karşılık düşürülmektedir. Kuantalama doğasından ötürü tersine çevrilemez bir dönüşüm olduğu için sadece tersine çevrilemez yol için tanımlanıp kullanılmaktadır. Blok kodlayıcı kodlanacak tamsayı değerlerinin aralık bilgisine ihtiyaç duyduğu için tersine çevrilemez yol üzerinde kuantalama sonrasında aralık belirleme işlemi uygulanırken, tersine çevrilebilir yol için ADD sonrasında oluşan katsayılara bu işlem uygulanmaktadır.

JPEG-2000 standardının 1. kısmı ISO 15444-1[7]'de tanımlandığı üzere altbant dönüşüm örneklerine kuantalama aralıklarının eşit dağılım göstermediği Ölübölgeli Skalar Kuantalama (Deadzone Scalar Quantization, DZQ) uygulanmaktadır. Örnek aralığının merkezindeki kuantalama adım aralığı diğer aralıkların iki katıdır. Kuantalama işlemi adım aralığı  $\Delta_b$  olmak üzere şu şekilde tanımlanmıştır (2.22):

$$q_b[n] = \underbrace{\text{sign}(y_b[n])}_{x_q[n]} \underbrace{\left\lfloor \frac{|y_b[n]|}{\Delta_b} \right\rfloor}_{v_b[n]} \quad (2.22)$$

Burada  $y_b[n]$  birim  $(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  aralıktaki b altbant örneklerini ifade etmekte olup  $q_b[n]$  bu örneklerin kuantalanmış değerlerini (kuantalama indislerini) belirtmektedir. Her altbant için ayrı  $\Delta_b$  adım aralığı belirtilebilmektedir.

Her altbandın kuantalama adım aralıkları pozitif tamsayı değerler olan üstel  $\varepsilon_b$  ve mantis  $\mu_b$  değerleri ile tanımlanmaktadır (2.23).

$$\Delta_b = 2^{-\varepsilon_b} (1 + \frac{\mu_b}{2^{11}}) ; \quad 0 \leq \varepsilon_b < 2^5, \quad 0 \leq \mu_b < 2^{11} \quad (2.23)$$

Giriş resminin örnek değerleri birim aralığa indirgenmiş olsa da ADD doğası nedeniyle çıkışın birim aralıkta olma garantisi yoktur. Dolayısıyla kodlayıcı ve kod çözücünün kuantalanmış değerleri ifade etmek için gerekli bit sayılarını birbirlerine iletmeleri gerekmektedir. Başka bir deyişle, kuantalanmış değerlerin büyüklüğü (b altbandı için)  $v_b[n]$  'i ifade etmek için gerekli bit sayısı.

Altbant örnek değerlerinin birim aralığı aşabilme ihtimalini göz önünde bulundurabilmek üzere bu aralık değerlerini tanımlamak için G parametresi kullanılmıştır (2.24).

$$-2^{G-1} < y_n[b] < 2^{G-1}; \quad \forall b \quad (2.24)$$

G koruma biti (guard bits) sayısı olarak ifade edilip 0 ile 7 arasında değer alabilmektedir. 0 değeri  $y_n \in (-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$  manasına gelip birim aralığın aşılmayacağını göstermektedir. CDF 9/7 ADD için G=1 değeri yeterli olmaktadır[6]. (2.22) ve (2.24) ifadeleri birleştirirsek b altbandı için kuantalanmış değer büyüklükleri ve büyüklük için bit sayısı  $K_b^{\max}$  'ı ifade edebiliriz (2.25).

$$v_b[n] = \left\lceil \frac{|y_b[n]|}{\Delta_b} \right\rceil < 2^{\varepsilon_b + G + 1} \quad (2.25)$$

$$K_b^{\max} \triangleq \max \{0, \varepsilon_b + G + 1\}$$

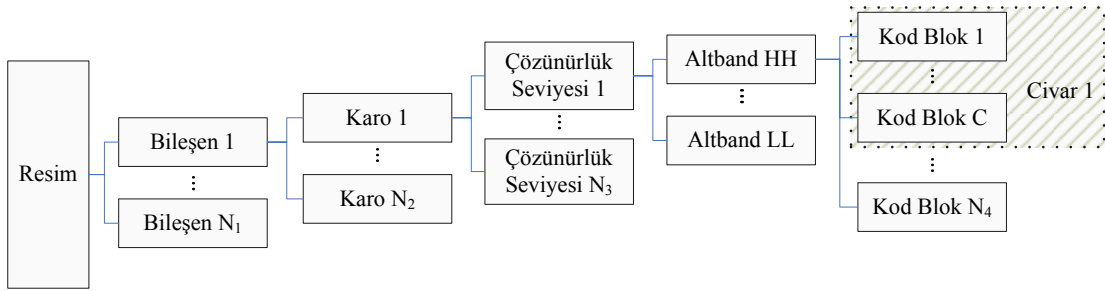
Blok kodlayıcı ve EBCOT sisteminin kuantalanmış altbant katsayılarına ve adım aralığına etkisinden Bit oran kontrolü ve bozulma optimizasyonu bölümünde bahsedilecektir.

## 2.5 Bölümleme Sistemleri

JPEG-2000 sisteminde resim domeninden altbant domenine geçiş için pek çok bölümleme yöntemi tanımlanmaktadır. Bu bölümlemeler hem dönüşüm hem de kodlama işlemleri kapsamında kullanılmaktadır.

Resim içerisinde birden fazla ve farklı büyüklüklerde bileşen (çoğunlukla resim bileşeni) olması durumunda JPEG–2000 bu bileşenleri aynı referans düzlemine eşleyebilmektedir. Bununla beraber kullanılan ortak referans düzlemi içerisinde farklı bileşenlere ait farklı altbant ve altbant bileşenlerini tanımlayabilme imkanı sağlanmaktadır.

Bileşenler örnek değerlerini içeren iki boyutlu dizilerden meydana gelmektedir. Ortak referans düzleminde tanımlanmış olan her bileşen ayrı Karo (Tile) parçalarına bölünebilmekte ve ayrı ayrı kodlanabilmektedir. Karo parçaları da birbirlerinden bağımsız olarak kodlanmakta, altbant dönüşümü sonucu ayrıştırma düzeyleri ve çözünürlük seviyeleri tanımlanabilmektedir. Ayrıca her altbantın kendi orijin noktası bulunmaktadır. Kod Blok ve Civar (Precinct) tanımlamaları ise altbant ve çözünürlük seviyeleri için yapılmaktadır ve bileşen (veya bileşen karoları) için farklı olabilmektedir. Kullanılan bölümlleme sistemleri özet olarak Şekil 2.8’de gösterilmektedir.

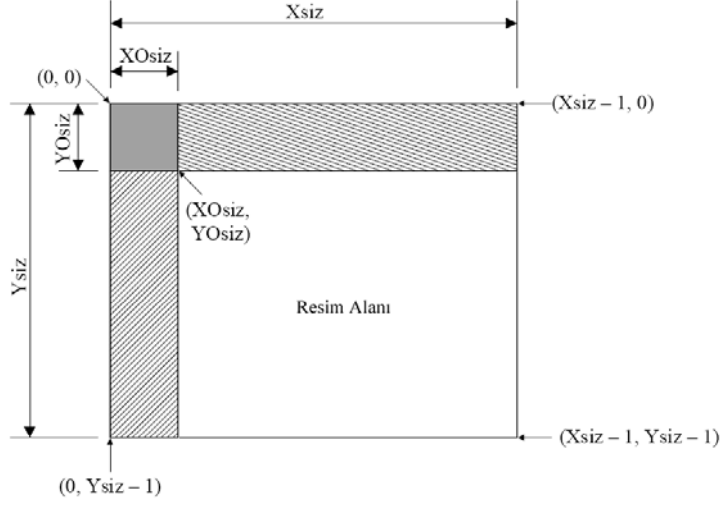


**Şekil 2.8 : Özet olarak bölümlleme hiyerarşisi**

Bu bölümde standarda uyumlu olması açısından parametreler ISO 15444-1 standardında ve kod akışı içerisinde ilgili alanlarda tanımlandığı notasyon ile verilecektir.

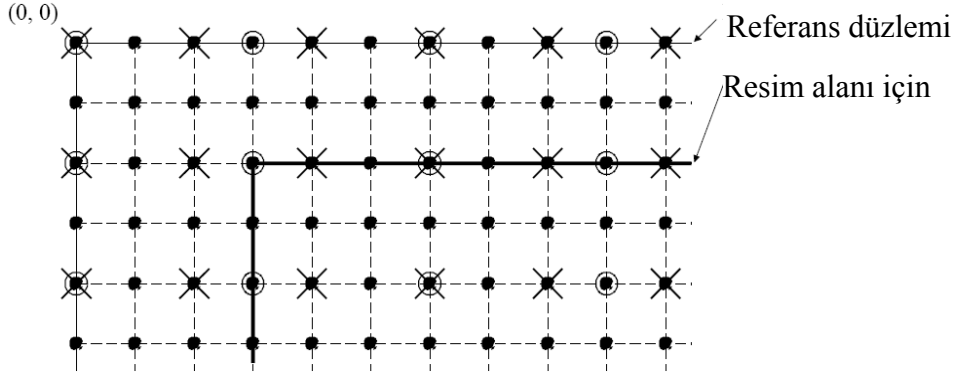
### 2.5.1 Bileşenler ve referans düzlemi

Önce de belirtildiği gibi tüm bileşenler ve diğer bölümlleme veri yapıları referans düzlemine göre tanımlanmaktadır. Bileşenleri içeren resim alanının ilgili parametreleri Şekil 2.9’de gösterilmektedir. Referans düzlemi dikdörtgensel olarak (0,0) ile ( $X_{siz}-1, Y_{siz}-1$ ) noktaları arasında tanımlanmış bir alandır. Resmin tanım alanı ise ( $X_{siz}, Y_{siz}$ ) ve ( $XOSiz, YOSiz$ ) parametreleri ile ifade edilmektedir. Resim referans düzlemi üzerinde sol üst köşeye göre ofset ile tanımlanabilmektedir (Şekil 2.9) [7].



**Şekil 2.9 : Referans düzlemi [7]**

Resmin tüm c bileşenlerinin veri akışı içerisinde  $XRsiz^c$ ,  $YRsiz^c$  olarak iletilen ve bileşenin örnekleme frekansını ifade eden parametreleri bulunmaktadır. Bir c bileşenin örnekleri, referans düzlemine satır ve sütun olarak  $XRsiz^c$ ,  $YRsiz^c$  aralıklarla yerleşmiştir. Her bileşen referans düzleminin bir alt kümesi olan ve (0,0) noktalarında kesişen kendi koordinat sistemine sahiptir (Şekil 2.10).



- $(XRsiz, YRsiz) = (1,1)$
- ×  $(XRsiz, YRsiz) = (2,2)$
- $(XRsiz, YRsiz) = (3,2)$

**Şekil 2.10 : Bileşen örneklerinin referans düzleminde örnek XRsiz ve YRsiz parametreleri ile yerleşimleri[7].**

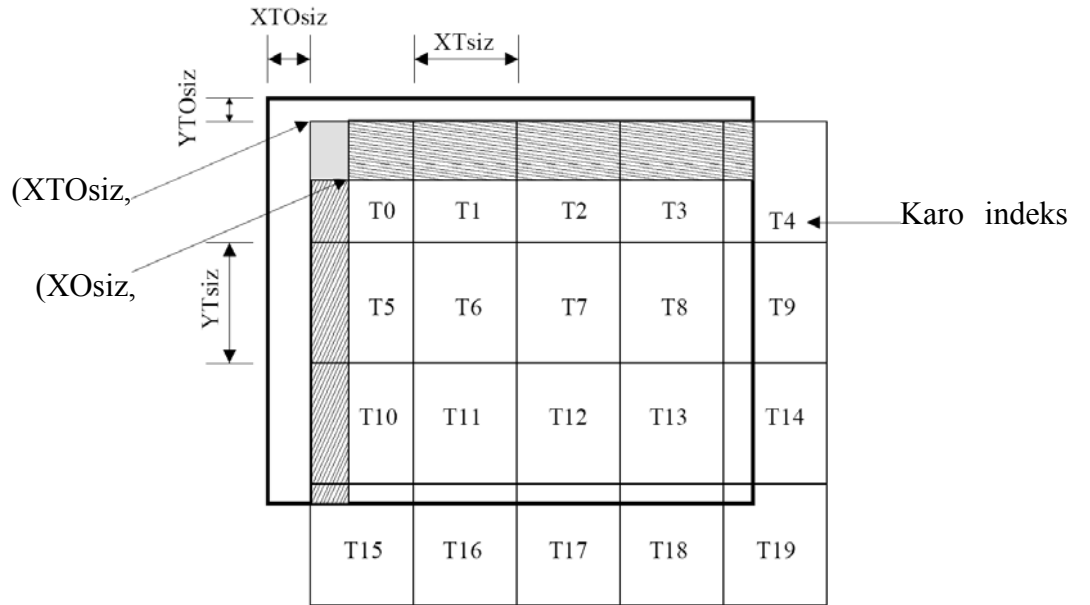
Sadece resim alanı içerisinde bulunan bileşen örnekleri resmin bileşenleri ifade etmektedir. Buna göre bir c bileşeni sol üst köşesi  $(x_0, y_0)$  ve sağ alt köşesi  $(x_I-1, y_I-1)$  koordinatlarında bulunan bir koordinat sistemine eşlenmiştir (2.26).

$$x_0 = \left\lceil \frac{XOsiz}{XRsiz^c} \right\rceil, x_1 = \left\lceil \frac{Xsiz}{XRsiz^c} \right\rceil, y_0 = \left\lceil \frac{YOsiz}{YRsiz^c} \right\rceil, y_1 = \left\lceil \frac{Ysiz}{YRsiz^c} \right\rceil \quad (2.26)$$

Buna göre c bileşenin yüksekliği ( $y_1 - y_0$ ), genişliği ( $x_1 - x_0$ ) ile ifade edilir.

### 2.5.2 Karo (tile) parçaları

Referans düzlemi dikdörtgensel alt parçalara bölünebilmektedir. Bu parçalara JPEG–2000 sisteminde Karo (Tile) adı verilmektedir. Her karo, bileşenler gibi iki boyutlu örnek dizilerinden oluşmaktadır. Karo büyüklükleri ve ofsetleri referans düzleminde sırasıyla ( $XTsiz$ ,  $YTsiz$ ) ve ( $XTOsiz$ ,  $YTOsiz$ ) değerleri ile tanımlanmaktadır. Bu değerler ve diğer tüm bölümlene parametreleri kod akışı içerisindeki ileride bahsedilecek ilgili kısımlara yazılmaktadır. Her karo parçanın referans düzlemindeki genişliği  $XTsiz$  ve yüksekliği  $YTsiz$  olup ilk karo (karo 0) bileşenin referans düzlemindeki başlangıç (sol üst köşe) ofset koordinat değeri ( $XTOsiz$ ,  $YTOsiz$ ) olarak gösterilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Referans düzleminin karo parçalarına bölünmesi.

Karo ofset değeri resim ofsetinden daha büyük olamamaktadır. Ayrıca ilk karo parçasının resim alanından bir örnek içermesi için sınır değerler şu şekilde tanımlanmıştır (2.27).

$$0 \leq XTOsiz \leq XOsiz \quad 0 \leq YTOsiz \leq YOsiz \quad (2.27)$$

$$XTsiz + XTOsiz > XOsiz \quad YTsiz + YTOsiz > YOsiz$$

Yatay (X) ve düşey (Y) yönündeki karo sayısı şu şekilde bulunmaktadır (2.28):

$$\begin{aligned} XyönündeKaroSayısı &= \left\lceil \frac{Xsiz - XTOsiz}{XTsiz} \right\rceil \\ YyönündeKaroSayısı &= \left\lceil \frac{Ysiz - YTOsiz}{YTsiz} \right\rceil \end{aligned} \quad (2.28)$$

Bundan yararlanarak t indeks'li karoyu düşey(q) ve yatay(p) indekslerle ifade edebiliriz (2.29).

$$p = \text{mod}(t, XyönündeKaroSayısı), q = \left\lceil \frac{t}{XyönündeKaroSayısı} \right\rceil \quad (2.29)$$

Buna göre t indeksli herhangi bir karo için referans düzlemindeki başlangıç  $(tx_0, ty_0)$  ve bitiş  $(tx_1, ty_1)$  koordinatları şu şekilde ifade edilir (2.30):

$$\begin{aligned} tx_0 &= \max(XTOsiz + p.XTsiz, XOsiz) \\ ty_0 &= \max(YTOsiz + q.YTsiz, YOsiz) \\ tx_1 &= \min(XTOsiz + (p+1).XTsiz, Xsiz) \\ ty_1 &= \min(YTOsiz + (q+1).YTsiz, Ysiz) \end{aligned} \quad (2.30)$$

Resim bileşenlerinden i bileşenin kendi koordinat sisteminde karo başlangıcı ve bitiş  $(tcx_0, tcy_0)$  ve  $(tcx_1, tcy_1)$  olarak tanımlanır (2.31).

$$tcx_0 = \left\lceil \frac{tx_0}{XRSiz^i} \right\rceil, tcx_1 = \left\lceil \frac{tx_1}{XRSiz^i} \right\rceil, tcy_0 = \left\lceil \frac{ty_0}{YRSiz^i} \right\rceil, tcy_1 = \left\lceil \frac{ty_1}{YRSiz^i} \right\rceil \quad (2.31)$$

Her bileşenin karoları ADD ile “Dönüşüm Sistemleri” bölümünde anlatıldığı gibi D altbanda ayrıştırılmakta ve sonucunda  $r=0,1,\dots,D$  olarak belirlenen  $D+1$  tane çözünürlük seviyesi oluşmaktadır. Bir karo bileşeni için  $n=D-r$  iken r çözünürlük seviyesi aynı zamanda  $LL_n$  altbandıdır. Buna göre herhangi bir c bileşeni için t karosunun alt çözünürlüklerinden r çözünürlük seviyesi için referans düzlemine göre başlangıç  $(trx_0, try_0)$  ve bitiş  $(trx_1, try_1)$  noktaları şu şekilde tanımlanmaktadır (2.32):

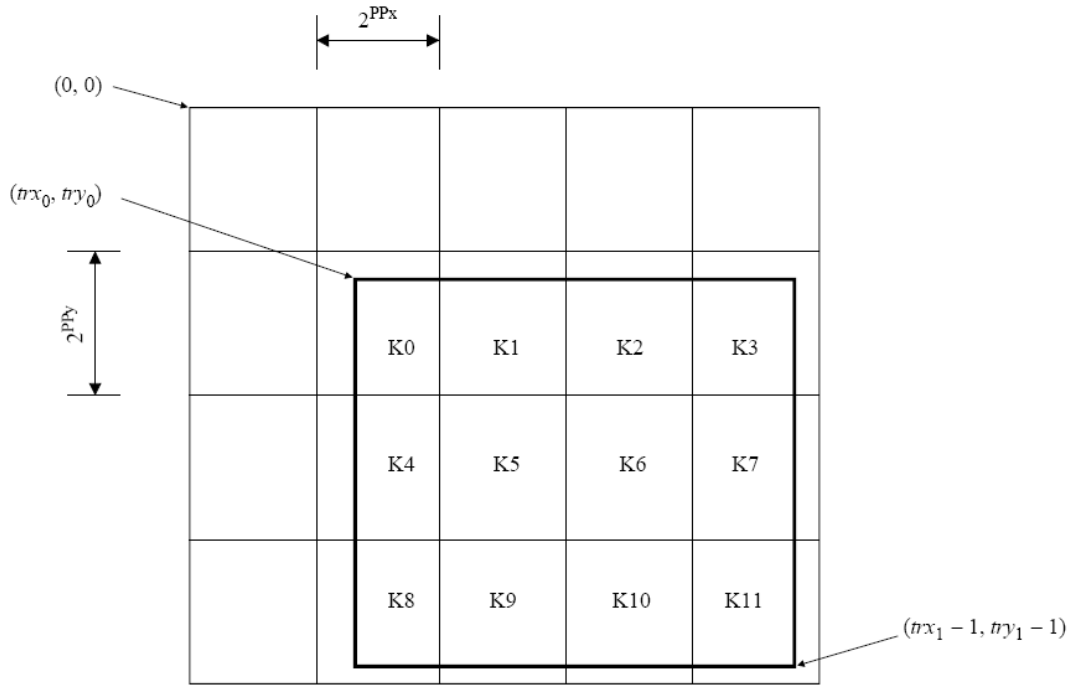
$$trx_0 = \left\lceil \frac{tcx_0}{2^{D-r}} \right\rceil, try_0 = \left\lceil \frac{tcy_0}{2^{D-r}} \right\rceil, trx_1 = \left\lceil \frac{tcx_1}{2^{D-r}} \right\rceil, try_1 = \left\lceil \frac{tcy_1}{2^{D-r}} \right\rceil \quad (2.32)$$

### 2.5.3 Kod blokları ve civar (precincts) gruplama

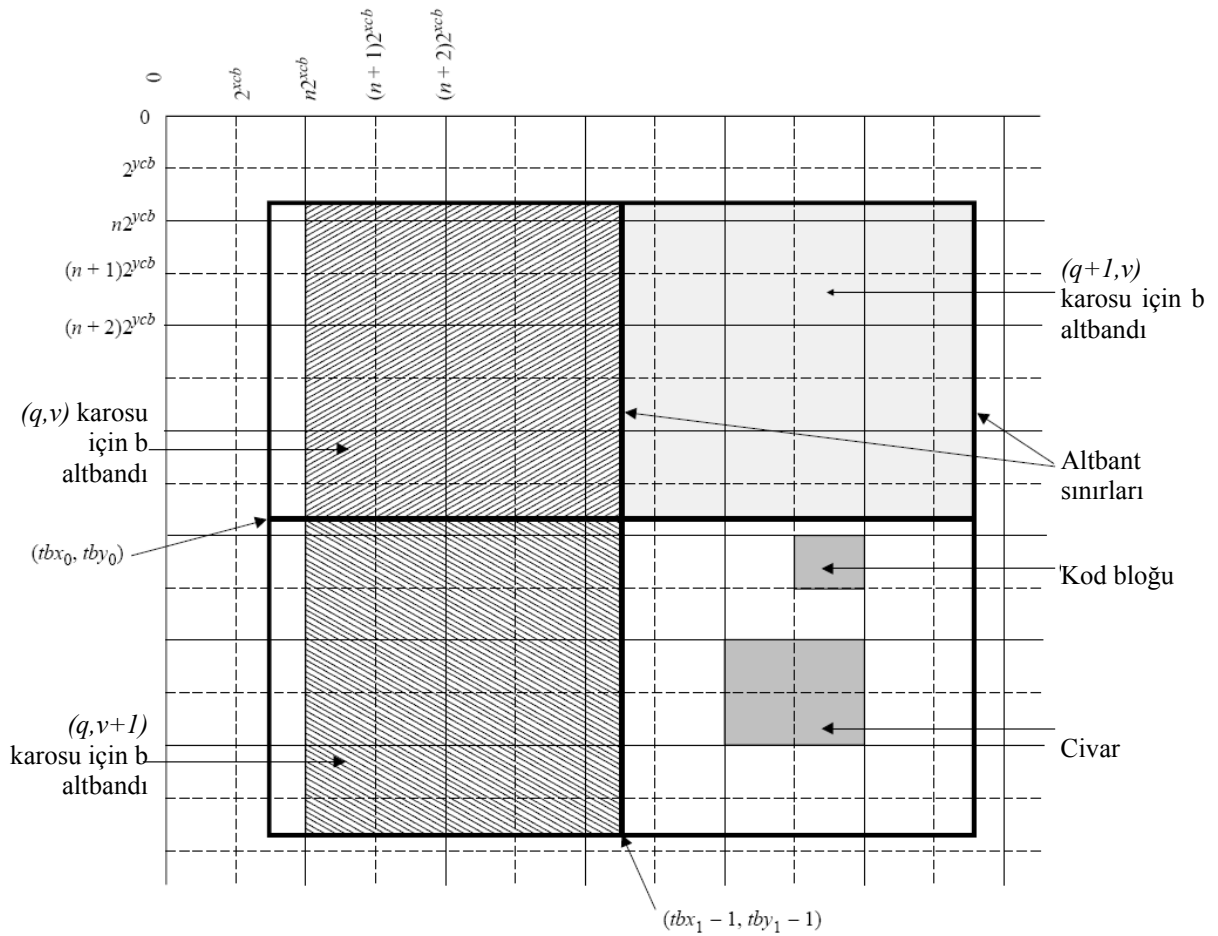
Herhangi bir bileşen, karo için  $(trx_0, try_0)$  ile  $(trx_{I-1}, try_{I-1})$  arasında tanımlanmış olduğumuz çözünürlük seviyeleri civar (precinct) olarak adlandırılan bölümlere ayrılmaktadır. Civar bölümleri büyüklük bilgileri  $PP_x$  ve  $PP_y$  parametreleri ile kod akışı içerisinde kod çözücüye iletilmektedir. Herhangi bir civar grubunun genişliği  $2^{PP_x}$  olup yüksekliği  $2^{PP_y}$  birimdir. Referans düzlemi (0,0) noktasından itibaren civar bölümlenmesi yapılmaktadır. Her bileşen, karo ve çözünürlük seviyesi için ayrı  $PP_x$  ve  $PP_y$  parametreleri seçilebilmektedir.

ADD sonucu elde edilen altbantlar kodlayıcıya gönderilmek üzere dikdörtgensel kod bloklarına bölünmektedir. Herhangi bir kod bloğunun uzunluğu  $xcb$  ve  $ycb$  parametreleri ile kod-akışı içerisinde belirtilmektedir. Tüm çözünürlük seviyeleri için kod bloğu büyüklükleri aynı olup civar büyüklükleri ile sınırlanmaktadır. Herhangi bir çözünürlük seviyesindeki altbant için kod blok büyüklüğü  $2^{xcb'}$  ve  $2^{ycb'}$  ile belirlenmektedir (2.33).

$$\begin{aligned} xcb' &= \begin{cases} \min(xcb, PP_x - 1), r > 0 \\ \min(xcb, PP_x), r = 0 \end{cases} \\ ycb' &= \begin{cases} \min(ycb, PP_y - 1), r > 0 \\ \min(ycb, PP_y), r = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2.33)$$



**Şekil 2.12 :** Herhangi bir çözünürlük seviyesi için civar tanımı



**Şekil 2.13 :** Dört karo için b altbandındaki kod blok ve civar tanımları

Şekil 2.13’de gösterildiği üzere kod blokları civarlarda olduğu gibi (0,0) referans noktasına göre tanımlanmaktadır. Buna göre tüm kod bloklarının ilk satırı  $m, n \in \mathbb{Z}$  olmak üzere  $y = m2^{ycb}$ ; ilk sütunlar ise  $x = n2^{xcb}$  ‘de bulunmaktadır. Şekilden de görüldüğü üzere kod bloklarının sınırları altbant katsayılarını sınırlarını aşabilmektedir. Bu durumda sadece altbant içerisindeki kod bloklar o altbant için kodlayıcıya iletilmektedir

## 2.6 Kodlama Sistemi

Bölümleme sisteminde dönüşüm sonrası elde edilen altbant örnekleri kod bloklarına bölünmektedir. Altbant kod blokları kodlayıcı sisteminde birbirlerinden bağımsız olarak kodlanmaktadır. Kodlama sistemi bu bölümde genel hatlarıyla anlatılacak olan bit düzlemi kodlama temellerini kullanmaktadır. Üzerlerinden birden fazla kodlama geçişi ile elde edilen bit düzlemleri, kodlama sisteminin ikinci aşamasında paketlere ayrılmaktadır(civar grupları). Bit oranı ölçeklenebilirliğinin sağlanabilmesi için katman yapıları tanımlanmakta ve sıralamaları belirlenmektedir.

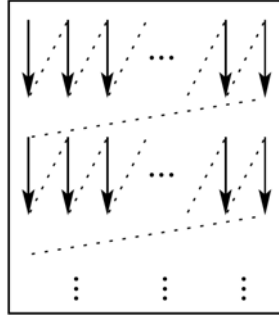
### 2.6.1 Birinci aşama: bit-düzlemi kodlama

Sistemde kullanılan bit düzlem kodlayıcı [12]’de anlatılan gömülü sıfır ağaç dalgacık (embedded zerotree wavelet - EZQ) kodlayıcıya ve [13]’de gösterilen sıraduzensel ağaç yapılarının kümelerle bölüntülenmesi (Set Partitioning In Hierarchical Trees - SPIHT) temelli kodlama tekniklerine dayanmaktadır. Bit düzlem kodlayıcının bu tekniklerden iki temel farkı bulunmaktadır.

1. Bantlar arası herhangi bir ilişki kullanılmamıştır.
2. Her bit düzlemi için iki yerine üç kodlama geçişi yapılmaktadır.

İlk farklılığın nedeni her kod bloğu tamamıyla bir altbanda ait olması ve kod bloklarının birbirlerinden bağımsız olarak kodlanması. Bantlar arası ilişkilerin kullanılmaması aynı zaman daha yüksek hata dayanıklılığını sağlamıştır. İkinci farklılığın sistemin temeline daha az dayalı nedeni ise iki yerine üç kodlama geçişi kullanarak geçiş başına işlenen veri miktarının azaltılması sonucu bit oran kontrolünün daha hassas yapılabilmesidir. Ayrıca ekstra bir geçiş kullanarak önemli olan verilerin daha iyi önceliklendirilebilmesi ve sonucunda kodlama verimliliğinin artması sağlanmıştır[14].

Kullanılan üç kodlama geçişi sıra ile şu şekildedir: önem (significance), düzeltme(refinement) ve temizleme(cleanup) kodlama geçişi. Tüm geçişler aynı kod bloğunun örneklerinin Şekil 2.14’de gösterilen aynı sıra ile taramaktadır. Kod bloğu 4 örnek uzunluklu düşey şeritlere ayrılmış yukarıdan aşağıya doğru işlenmektedir. Son satır blok yüksekliği 4’ün katı olmaması durumunda daha kısa şeritler ile işlenmektedir.



**Şekil 2.14 :** Kod bloğu içerisinde örnek tarama sırası

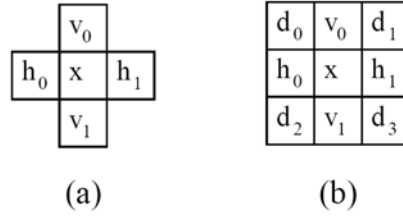
Bit düzlemi kodlama süreci her kodlama geçişinde bir sembol dizisi oluşturur. Bu sembollerin hepsi veya bir kısmı entropi kodlayıcı ile kodlanmaktadır. Entropi kodlama işlemi için bir içerik (konteks) uyumlu ikili aritmetik kodlama (Context Based Adaptive Binary Coder, CABAC) [4] olan ve JBIG2 resim kodlama standardı ile tanımlanan MQ kodlayıcı [5] ile yapılmaktadır. Her kodlama geçişinde semboller aritmetik kodlama ile veya işlenmemiş bit dizisi olarak (örn. ikili semboller sadece araya sıfır sokma işlemine tabi tutulup bir sonraki aşamaya iletilir) kodlanır. Aritmetik ve işlenmemiş kodlama süreçleri hata dayanıklılığı için kullanılacak bazı bit dizilerinin oluşturulmamasını da sağlamaktadır.

Temizleme geçişi sadece aritmetik kodlamayı kullanmaktadır. Önem ve düzeltme geçişleri için ise aritmetik kodlama atlama modu (aylak mod) seçilip seçilmemesine göre iki ihtimal söz konusudur. Aylak mod seçili ise önem ve düzeltme geçişleri sadece en önemli 4 bit düzlemi için aritmetik kodlama kullanmakta ve diğer bit düzlemleri işlenmemiş kodlamaya tabi tutulmaktadır. Diğer durumda ise tüm önem ve düzeltme geçişleri aritmetik kodlama kullanmaktadır.

Buna göre kodlama geçişinde ilgili veriyi kodlamak için kullanılabilecek iki sistem (aritmetik veya işlenmemiş) bulunmaktadır. Ardışık kodlama geçişlerinin aynı sistem ile kodlama yapması durumunda bir bölüt (segment) oluşturulmaktadır. Bir bölütteki tüm kodlama geçişleri, kullanılan sonlandırma moduna (termination mode) göre tek

bir kod kelimesinin oluşumuna katkıda bulunabilecekleri gibi ayrı kod kelimeleri de oluşturabilmektedir. Kodlama geçişi başına sonlandır (per-pass termination) ve bölüt başına sonlandırma (per-segment termination) olmak üzere iki sonlandırma modu tanımlanmıştır. İlk modda tüm kodlama geçişleri ile sonlandırılan kod kelimeleri oluşturulurken, ikinci moda sadece bölüt için son kodlama geçişinde kod kelimesi oluşturulur. Tüm kod geçişlerinde sonlandırma yapılması durumunda hata dayanıklılığı artarken kodlama kazancı azalmaktadır.

İçerik uyumlu aritmetik kodlama kullanılmasından ötürü bir konteks seçilmesi gerekmektedir. İçerik seçimi iki şekilde, örneğin 4 veya 8 komşusuna bakarak yapılabilmektedir.



**Şekil 2.15 :** İçerik seçimi için kullanılan modeller. **(a)** 4-bağlı , **(b)** 8-bağlı komşu

### 2.6.1.1 Önem Kodlama Geçişi

Kodlama geçişlerinden ilki olan önem kodlama geçişi, ilgili bit düzlemi için önemin belirlenmesi ve henüz önemli olarak belirtilmeyip ilgili bit düzleminin işlenmesi sırasında önemli olabileceği tahmin edilen örneklerin işaret bilgisinin belirlenmesini sağlamaktadır. Şekil 2.14’de gösterilen sıra ile işlenen örnekler (örn. kuantalanmış altbant dönüşüm katsayıları) bu kod geçişinde önemli olarak tahmin edilirse ilgili örneğin önemi (veya önem bit düzlemi) bir ikili sembol ile kodlanır. Bu örnek için işlemin devamında önemli olduğuna karar verilmesi durumunda örneğin işareti yine bir ikili sembol ile kodlanır.

Eğer MSB (en yüksek ağırlıklı) düzlemi işlenmiş ise tüm örnekler önemsiz olarak tahmin edilmektedir. Aksi halde örneğin 8-komşusundan biri önemli olarak belirlenmiş ise önemli olarak tahmin edilmektedir. Bu tahmin kuralına göre MSB düzlemi boş geçilip açık olarak kodlanmamaktadır.

Önem geçişinde semboller CABAC türevi MQ kodlayıcı ile kodlanabilmektedir. Bir sembolün ikili önem bilgisinin aritmetik kodlanması durumunda önemi ifade eden ikili sembol dokuz konteks kullanılarak kodlanmaktadır. Kullanılacak kontekse

kodlanacak örneğin 8-komşusunun önemlerine bakılarak ve ait olduğu altbanda (LL, LH, HL veya HH) göre karar verilir.

Sembolün ikili işaret bilgisinin aritmetik olarak kodlanması istenirse örnek değerin işaret bilgisi asıl ve tahmin edilen işaret bilgilerinin farkı olarak kodlanır. Aksi halde işaret direk kodlanmaktadır. Aritmetik kodlamada işaret tahmini 4-komşu örneğin işaret ve önem bilgilerine göre yine dokuz konteks kullanılarak yapılmaktadır [14].

#### **2.6.1.2 İyileştirme kodlama geçişi**

Bit düzlemleri için ikinci kodlama geçişi iyileştirme (refinement) geçiştir. Bu geçiş her ilgili örneğin MSB (en yüksek ağırlıklı) sonrasındaki bit düzlemleri ile ilgilidir. Şekil 2.14’de gösterilen sıra ile işlenen örnekler daha önceki bit düzleminde önemli olarak işaretlenmiş ise sonraki MSB biti ikili sembol olarak kodlanmaktadır (veya taşınmaktadır).

Önem kodlama geçişinde olduğu gibi örnekler aritmetik veya işlenmemiş olarak kodlanabilmektedir. Aritmetik kodlama kullanılması durumunda her iyileştirme sembolü üç konteks kullanılarak kodlanmaktadır. Kullanılan kontekse örneğin 8-komşusunun önemlerine ve ikinci MSB düzleminin iyileştirilmelerine bakılarak karar verilmektedir [14].

#### **2.6.1.3 Temizleme kodlama geçişi**

Bit düzlemlerine uygulanan üçüncü ve son kodlama geçişi temizleme (cleanup) kodlama geçiştir. Temizleme geçişi bu aşamaya kadar önemsiz olarak tahmin edilen bit düzlemindeki örneklerin işaret bilgisinin ve öneminin belirlenmesini sağlamaktadır. Önem kodlama geçişi ile benzer şekilde çalışan temizleme kodlaması, farklı olarak önemsiz olarak tahminde bulunan örneklerle ilgilenir ve önem kodlamasında olduğu gibi örnek değerlerini tek tek işlemek yerine gruplayarak işlemektedir.

Önceki geçişlerde Şekil 2.14’de gösterilen şemaya göre taranarak işlenen örnekler bu geçişte 4’lü (veya son satırda kalan artık grup yüksekliği kadar) dikey gruplar halinde işlenmektedir. Şekilde dikey oklarla gösterilen bu gruplar dikey taramalar olarak adlandırılmaktadır. Temizleme geçişi her dikey tarama bileşenini işlerken bu bileşendeki tüm örnekler önceki geçişlerde önemsiz olarak tahmin edilmiş ise birleştirme moduna geçip bu örneklerden bu geçişte de önemsiz olarak

değerlendirilenlerin sayısını kodlayıp, önem bilgisini atlamaktadır. Diğer dikey tarama bileşenlerinin örnekleri ise önem modunla olduğu gibi kodlanmaktadır.

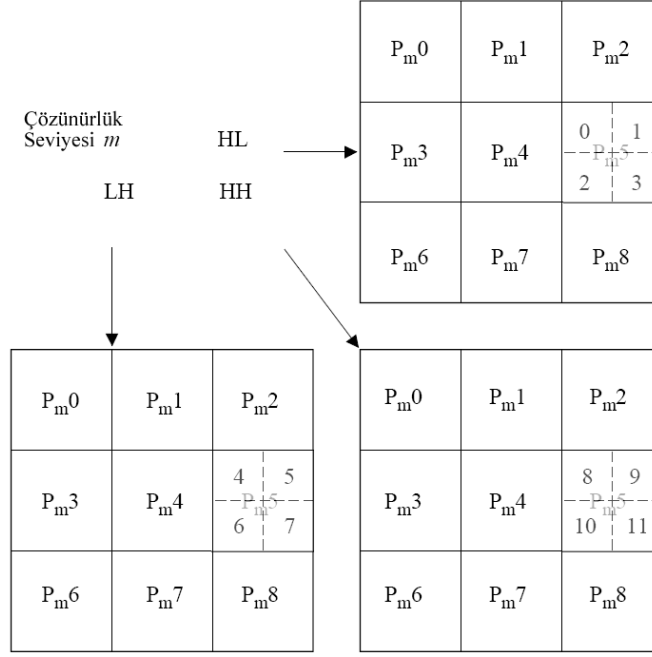
Temizleme geçişimde tüm semboller aritmetik olarak kodlanmaktadır. Birleştirme modunda dikey taramada 4 örnek beraber değerlendirilmektedir. Tüm örneklerin önemsiz olup olmamasına göre bir ikili birleştirme sembolü ve iki ikili sembol (önemsiz örnek sayısı için) kodlanmaktadır. Birleştirme modu sembolleri tek korteks kullanılarak kodlanmaktadır. Diğer semboller ise önem modu ile aynı yöntemler kullanılarak kodlanmaktadır [14].

### **2.6.2 İkinci aşama: paket ve katman yapısı**

Kodlama sisteminin ikinci aşamasında kodlama geçişleri sonrasında elde edilen semboller paketleme işlemine tabi tutulmaktadır. Paketleme işlemi bit oran ölçeklenebilirliği, çözünürlük ve asla uygunluğa göre aşamalı geri elde etme ve benzeri kodlayıcı kod çözücü sistemi özelliklerini JPEG-2000 sistemine kazandırmaktadır.

Paketler temelde bir dizi kod geçişi verisinin birleştirilmiş halidir. Her paket başlık ve gövde olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Başlık bilgisi hangi kodlama geçişi verilerinin paket içerisinde bulunduğunu gösterirken, gövde kısmı kod geçişi verilerini (bilgilerini) içermektedir. Kullanılan kodlama seçeneğine göre başlık ve gövde bilgileri kod akışı içerisinde beraber veya ayrı bulunabilmektedir.

Kalite katmanları ise bit oranı ölçeklenebilirliğini sağlamak için kullanılan veri gruplama yapılarıdır. Her karo için kodlanmış bilgi 0 ile  $L-1$  arasında numaralandırılan  $L$  katman olarak düzenlenmektedir. Kodlama geçişleri sonrasında elde edilen veri bir katmana atanır veya atılır (atlanır). Öncelikli veya önemli kod geçişi verileri alt katmanlardan başlanarak atanmaktadır. Dolayısıyla resme ait en önemli kısımlar (DC bileşen) ilk (en düşük) katmanda bulunurken, daha ince detaylar yüksek katmanlarda bulunmaktadır. Kod çözme işleminde katmanlar işlendikçe elde edilen görüntünün kalitesi artmaktadır. Kayıplı kodlama durumunda kodlama geçişi verileri bit oranı kontrol sisteminin kararına bağlı olarak herhangi bir katmana atanmadan atlanmalı veya en son kod akışına dahil edilmek üzere bir katmana atanmalıdır. Kayıpsız kodlamada ise tüm kod geçişleri katmanlara atanmaktadır.



**Şekil 2.16 :** Bir bileşenin, bir çözünürlük seviyesi için civarlar (precincts) civar içerisindeki kod blok yerleşimi (çözünürlük seviyesi  $m$  için 5. civardaki kod blokları)[7].

**Çizelge 2.5 :** Örnek katman oluşumu (bir bileşen için) [7].

| Çözünürlük Seviyesi | 0        |          |     |     | ... | m        |          |     |          | ... | D        |          |     |
|---------------------|----------|----------|-----|-----|-----|----------|----------|-----|----------|-----|----------|----------|-----|
| Civar               | $P_{00}$ | $P_{01}$ | ... | ... |     | $P_{m0}$ | $P_{m1}$ | ... | $P_{m8}$ | ... | $P_{D0}$ | $P_{D1}$ | ... |
| Katman 0            | Paket 0  | Paket 0  | ... | ... |     | Paket 0  | Paket 0  | ... | Paket 0  | ... | Paket 0  | Paket 0  | ... |
| Katman 1            | Paket 1  | Paket 1  | ... | ... |     | Paket 1  | Paket 1  | ... | Paket 1  | ... | Paket 1  | Paket 1  | ... |
| ...                 | ...      | ...      | ... | ... |     | ...      | ...      | ... | ...      | ... | ...      | ...      | ... |

Katmanlar paketler ile oluşturulmaktadır. Paketler ise farklı çözünürlük seviyelerinden (belirli bir karo için) gelen civarlar içerisinde bulunan kod bloklarındaki kodlanmış bit düzlemlerinin katılımlarıyla oluşturulmaktadır.

Her kodlama geçişi bir önceki bölümde bahsedildiği üzere ilgili bir bileşen, çözünürlük seviyesi, altbant ve kod bloğu ile ilişkilidir. Kodlayıcının 2. kısmında her bileşen, çözünürlük seviyesi, katman, civar dörtlüsü için bir paket oluşturulmaktadır. Bahsedilen her dörtlü için bir paket oluşturulması zorundadır fakat paket kodlama

geçiş verisini içermek zorunda değildir. Dolayısıyla oluşturulabilecek boş paketler kodlanmış bilgiyi taşımayabilir.

**Çizelge 2.6 :** Farklı kod bloklarındaki bit düzlemlerinin katılımı ile örnek paket oluşumu [7].

|     | kod bloğu 0 | kod bloğu 1 | kod bloğu 2 | ... | kod bloğu 10 | kod bloğu 11 |         |
|-----|-------------|-------------|-------------|-----|--------------|--------------|---------|
| MSB | c           | 0           | 0           | ... | c            | 0            | paket 0 |
|     | a           | 0           | 0           | ... | a            | 0            |         |
|     | b           | 0           | 0           | ... | b            | 0            |         |
|     | c           | c           | 0           | ... | c            | 0            |         |
|     | a           | a           | 0           | ... | a            | 0            | paket 1 |
|     | b           | b           | 0           | ... | b            | 0            |         |
|     | c           | c           | c           | ... | c            | c            |         |
|     | ...         | ...         | ...         | ... | ...          | ...          | diğer   |
| LSB | a           | a           | a           | ... | a            | a            |         |
|     | b           | b           | b           | ... | b            | b            |         |
|     | c           | c           | c           | ... | c            | c            |         |

Kodlanmış resmi oluşturmak için son aşamada meydana gelecek kod akışı içerisinde eklenecek paketlerin farklı şekilde sıralanabilmesi mümkündür. Sıralama için kullanılacak bu düzenlemelere “progression” denmektedir. 5 farklı sıralama şekli (modu) kullanılabilmektedir. Düzenleme sırasına göre isimlendirilmiş bu modlar şu şekildedir:

- LRCP: Katman-çözünürlük-bileşen-pozisyon sıralama
- RLCP: Çözünürlük-katman-bileşen-pozisyon sıralama
- RPCL: Çözünürlük-pozisyon-bileşen-katman sıralama
- PCRL: Pozisyon-bileşen-çözünürlük-katman sıralama
- CPRL: Bileşen-pozisyon-çözünürlük-katman sıralama

Burada pozisyon civar numarasını ifade etmekte ve sıralama numarası en önemliden en önemsiz doğru listelenmektedir. Örneğin ilk düzenleme sistemini incelersek, paketler öncelikli olarak katman, sonra çözünürlük, sonra bileşen, en son pozisyon bilgisine göre sıralanmaktadır. Buda alıcı tarafta katman sisteminin önceliği dolayısıyla aslına uygunluk ölçütüne göre aşamalı olarak yeniden elde etme imkanı sağlamaktadır. Benzer şekilde ikinci düzenleme sistemi çözünürlüğe göre aşamalı

elde etme imkanı sağlar. Yeni düzenleme sistemleri kodlama maliyetinin (eklenecek yeni başlık nedeniyle) artması kabul edilerek tanımlanabilir.

Kod çözücü sistem ikinci aşamanın çözülmesi işleminde kod akışı içerisinde elde ettiği farklı kodlama geçişi bilgilerini ilgili olduğu kod bloklarına eşlemektedir. Kodlayıcı bit oranı kontrol sistemi içerisinde geçiş bilgilerinin bir kısmını elemektedir. Dolayısıyla kayıplı kodlama işleminde tüm kodlama geçişi bilgilerinin elde kod akışında mevcut olması beklenemez. Kayıpsız durumda ise tüm geçiş bilgileri kod akışı içerisinde bulunmaktadır.

Bu kısımda kodlama sistemi için anlatım kolaylığı açısından kodlayıcı tarafından bakılarak anlatım seçilmiştir. Kod çözücü algoritmaları ise kodlama sisteminden basitçe elde edilebilmektedir.

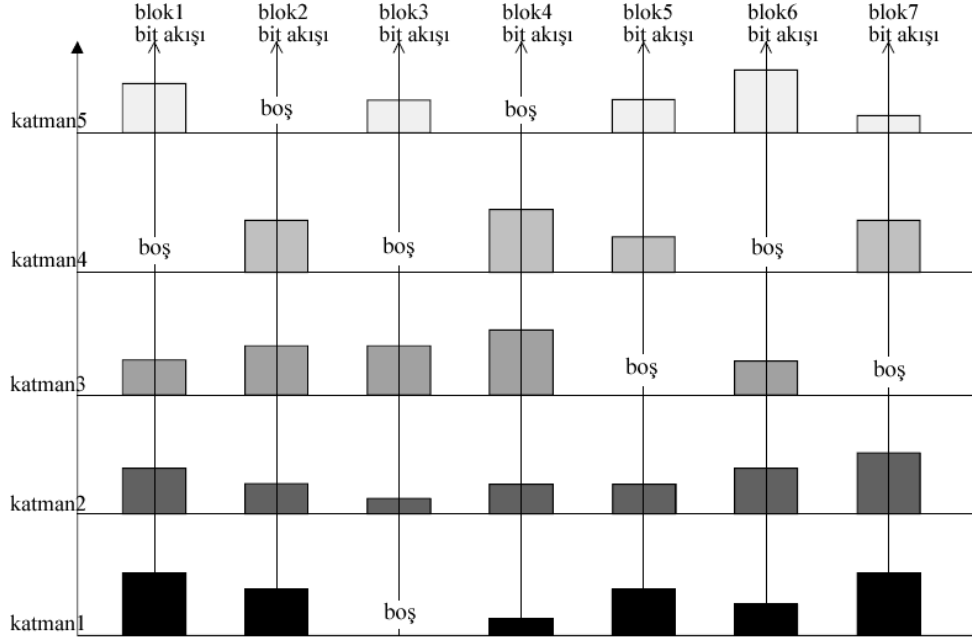
### **2.6.3 Bit oran kontrolü ve bozulma optimizasyonu**

Kodlayıcıda bit oran kontrolü iki mekanizma ile sağlanmaktadır. İlki kullanılan kuantalama adım aralığı seçimi, ikincisi ise kod akışı içerisinde yer alacak kodlama geçişlerini seçimidir.

İlk mekanizmanın kullanılması durumunda kuantalama adım aralıkları sistemin çıkışındaki bit oranını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Adım aralıkları büyüdükçe bit oranı azalmakta ve kodlanacak resimdeki bozulma artmaktadır. Bu mekanizma basit olmasına karşın çok temel bir dezavantajı bulunmaktadır. Kuantalama adım aralığının her değişimi kodlama sisteminin birinci kısmının yeniden çalışmasını gerektirmektedir. Birinci kısım kodlama getirdiği hesaplama yükü nedeniyle, hesaplama kapasitesi kısıtlı olan kodlayıcı sistemlerde ve gerçek zamanlı (veya düşük gecikmeli) kodlama gereksinimi olması durumunda pratik bulunmamaktadır.

İkinci mekanizma ise, kodlayıcıda kodlama geçişlerinden elde edilen verileri bit oranı kontrolü için elemektedir. Kodlayıcı bu durumda kod blokları için her kodlama geçişinin bit oranına katkısını bilmekte ve çıkıştaki bozulmayı azaltma miktarını hesaplayabilmektedir. Bu bilgiyi kullanarak kodlayıcı, bit oran maliyeti sınır değerine kadar birim bit oranı için bozulmayı azaltacak şekilde kodlama geçişlerini kod akışına dahil edecektir. Bu yaklaşım farklı bozulma metrikleri (MSE, görsel ağırlıklandırılmış MSE, vb... ) ile kullanılabilecek şekilde esnektir.

JPEG–2000 içerisinde bit-oran kontrolü için kullanılmakta olan her iki yöntem 1999 yılında ortaya konan Optimum Bölmeli Gömülü Blok Kodlama [16] (EBCOT) yöntemi ile sağlanmaktadır. Bu yöntem temelde kod-bloklarını bit düzlemlerine kodlanırken hedeflenen bit oran için minimum bozulma metriği ile örnekleri ifade eden bit dizileri için ideal kesme (truncation) noktalarını saptamaya yöneliktir.



**Şekil 2.17 :** Kod blok katkılarıyla oluşan bit akışı katmanları.

Kodlama işlemi sonrasında oluşan bit akışı temelde birbirini izleyen farklı kod bloklarının katkılarıyla oluşturulan katman bilgileridir.

Örnek olarak Şekil 2.17’de gösterilen oluşumda 5 katman ve 7 kod bloğu belirtilmiştir. Her katman için öngörülen bit akışı kesim noktaları bit oranı bozulması anlamında EBCOT algoritması ile optimize edilmiştir.

Altbantları oluşturan kod blok birimleri ait oldukları altbanttan bağımsız olarak aynı yöntem (MQ kodlayıcı) ile kodlanmakta olduğu için altbant kod blok ilişkisini ihmal edip resmi oluşturan tüm kod bloklarını  $\{B_i\}_{i=1,2,...}$  olarak gösterebiliriz. Daha öncede bahsedildiği üzere her  $B_i$  kod bloğu için bit düzlemlerinden oluşan ve diğer kod bloklarından bağımsız olan bir kod akışı oluşturulmaktadır. Her kod bloğu bit akışı  $R_i^1, R_i^2, ...$  ile gösterilen farklı uzunluklar ile kesilirken, yeniden oluşturma işleminde  $D_i^1, D_i^2, ...$  ile gösterilen bozulmalar oluştururlar. Bozulma ölçümü için istenilen metrik kullanılabilir olup, genel karesel hata ortalaması (MSE) seçilmektedir.

Kodlama işleminde uzunluklar ( $R_i^n$ ) ve bozulmalar ( $D_i^n$ ) hesaplanıp geçici olarak kod bloğu bit akışı ile birlikte tutulmaktadır. Tüm resim sıkıştırıldıktan sonra PCRD (Sıkıştırma Sonrası Bozulma Optimizasyonu) olarak adlandırılan algoritma ile hedeflenen bit oranı sınırları veya diğer kalite metrikleri için uygun bit akışı kesim noktaları (başka bir deyişle katman dağılımları) kullanılarak düzenlenmektedir. PCRD optimizasyon yöntemi [16] çalışmasında sunulmuştur.

(2.34)'de gösterilen  $n_i$ ,  $B_i$  kod bloğu için kesim noktası olmak üzere  $D$  yeniden elde edilen resimdeki bozulmayı,  $R$  ise sonuçta elde edilen bit akışının uzunluğunu göstermektedir. Optimizasyon için temel gereksinim belli bir  $R_{maks}$  sınırı ( $R < R_{maks}$ ) için  $D$  bozulmasını minimize edecek  $n_i$  kümesini elde etmektedir. Optimizasyon için Lagrange metodu kullanılarak problem (2.35) ifadesini minimize etmeye indirgemıştır.

$$D = \sum_i D_i^{n_i}, \quad R = \sum_i R_i^{n_i} \quad (2.34)$$

$$\sum_i (R_i^{n_i} - \lambda D_i^{n_i}) \quad (2.35)$$

Buna göre  $\lambda$ ,  $n_i$  kesim noktaları kümesi ile elde edilen bit oranı (2.35) ifadesini minimize edip  $R = R_{maks}$  sınırını sağlayıncaya kadar ayarlanmalıdır. Ayrıca herhangi  $n_i$  kesim noktaları kümesi için (2.35) ifadesini minimize eden  $\lambda$  değeri ilgili bit oranı için minimum bozulmayı sağlaması açısından uygun değerdir. Tekrar kod blokları açısından inceleyecek olursak EBCOT algoritmasının ve PCRD sisteminin temel görevi her  $B_i$  kod bloğu için ayrı ayrı  $R_i^{n_i} - \lambda D_i^{n_i}$  ifadesinin minimize eden  $\lambda$  değerlerinin bulunması ve  $n_i$  kesim noktaları kümesine göre katmanlara kod blokları için bit dizisi dağılımının sağlanmasıdır. Bunun için her kod bloğunun kesim noktaları için  $S_i^{n_i} = \Delta D_i^{n_i} / \Delta R_i^{n_i}$  olarak tanımlanan bit oranı bozulma eğrisi hesaplanmaktadır. Kodlama sonrası optimizasyon işi seçilen bir  $\lambda$  için  $S_i^{n_i} > \lambda^{-1}$  olan en büyük  $n_i$  kesim noktaları kümesini bulmaya indirgenmektedir.

Bit akışına dahil edilecek kod bloklarına ait bit dizilerinin gömülü ifade (kod akışına dahil edilecek hali) için kesilmesi (kısaltılması) işlemi kuantalama adım aralığını da

etkilemektedir. Buna göre herhangi bir  $B_i$  kod bloğuna ait  $y_i[j]$  örneği için adım aralığı şu şekilde bulunur (2.36):

$$\Delta_i[j] = \Delta_{b_i} \cdot 2^{p_i[j]} \quad (2.36)$$

Bu ifadede  $b_i$  parametresi  $B_i$  kod bloğunu içeren altbant indeksi olup  $p_i[j]$  parametresi ise (2.25)'de gösterilen kuantalanmış değer büyüklüğü  $v_i[j]$  'den kod bloğunun gömülü ifadesi için atılan LSB (en düşük ağırlıklı bit) düzlemi sayısını göstermektedir. Buna göre kod bloğunun gömülü ifadesi için kesme işlemi kuantalama adım aralığını da kontrol etmektedir. Dolayısıyla kuantalama adım aralığı seçimi blok kodlayıcının kod blok örneklerden eşit miktarda kodlama geçişini atmasına (atlamasına) eşdeğer düşünülebilir [6].

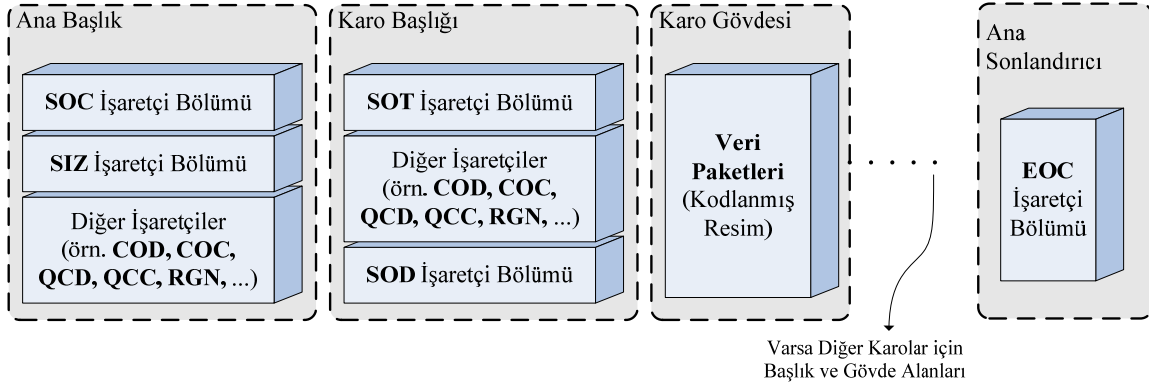
## 2.7 Kod Akışı Sözdizimi

Kodlanmış resim ifadesinin kod çözücüyeye iletmek için iki ayrı seviyeden oluşan sözdizimi kullanılmaktadır. Düşük seviyedeki sözdizimi kod akışı olup, üst seviyede dosya biçimi olarak tanımlanan sözdizimi tanımlanmıştır. Kod akışı belli bir sentaksa göre işaretlenmiş ve formatlanmış veri alanlarından oluşmaktadır. Kod akışı içerisindeki temel veri alanı birimleri başlık ve işaretçidir. Şekil 2.18'de gösterilen işaretçi birimi 3 kısımdan oluşmaktadır. Tip bilgisi bölümü belli bir işaretçi birimini belirlemek için kullanılmaktadır. İşaretçi tipine göre işaretçinin uzunluk bilgisi ve ilgili parametreleri işaretçi içerisinde bulunabilmektedir. Her işaretçi tanımlanmış belli sınıflardaki bilgileri içermektedir.

|                                |                                                       |                                                              |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Tip Bilgisi</b><br>(16 Bit) | <b>Uzunluk Bilgisi</b><br>- Gerekli İse -<br>(16 Bit) | <b>Parametreler</b><br>- Gerekli İse -<br>(Değişken Uzunluk) |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|

**Şekil 2.18 :** Kod akışı işaretçi birimi yapısı

Kod akışı basit olarak Şekil 2.19'de gösterildiği şekilde düzenlenen işaretçi birimleri ve kodlanmış resim verisini içeren paketlerden oluşmaktadır. Akış EOC işaretçi bölümünü içeren sonlandırıcı bölüm ile bitirilmektedir. Tüm işaretçi bölümleri, paket başlıkları ve gövdeleri 1 bayt'ın (8 bit) katları uzunluktadır.



**Şekil 2.19 : Kod akışı yapısı**

JPEG–2000 standardında[7] tanımlanan işaretçi alanlarından önemlileri ve açıklamaları Çizelge 2.7’de verilmiştir. Ana başlık içerisinde yer alan işaretçi bölümlerindeki bilgiler tüm kod akışı için geçerlidir. Bu alanlarda yer alan bilgiler istenilen bir karo için farklı kullanılmak istendiğinde ilgili karo için işaretçi bölümü tekrar kullanılabilir.

**Çizelge 2.7 : Önemli İşaretçi Bölümü Tipleri**

| İşaretçi Kısaltması | İşaretçi İsmi                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------|
| SOC                 | Kod Akışı Başlangıcı (Start Of Codestream)    |
| EOC                 | Kod Akışı Sonu (End Of Codestream)            |
| SOT                 | Karo Alanı Başlangıcı (Start Of Tile Part)    |
| SOD                 | Veri Alanı Başlangıcı (Start Of Data)         |
| SIZ                 | Resim ve Karo Büyüklüğü (Size)                |
| COD                 | Genel Kodlama Tipi (Coding Style Default)     |
| COC                 | Bileşen Kodlama Tipi (Coding Style Component) |
| QCD                 | Genel Kuantalama (Quantization Default)       |
| QCC                 | Bileşen Kuantalama (Quantization Component)   |
| RGN                 | İlgi Bölgesi (Region Of Interest)             |

Bahsedilen işaretçilerden RGN işaretçisi 3. bölümde bahsedilecek olan Maxshift kodlama yöntemi için kullanılacak  $U$  parametresini taşımaktadır.

Kod akışı kodlanmış resmi yeniden elde etmek için gerekli temel bilgileri içermektedir. Bu bilgilerin yanı sıra ekstra bilgiler iletilmesi istendiği uygulamalarda

daha üst seviyedeki söz dizimi için dosya biçimi kullanılır. Dosya biçimi için gerekli temel birimler Şekil 2.20’de gösterilmektedir. Biçim kutu (Box) olarak adlandırılan veri yapılarından oluşmaktadır.

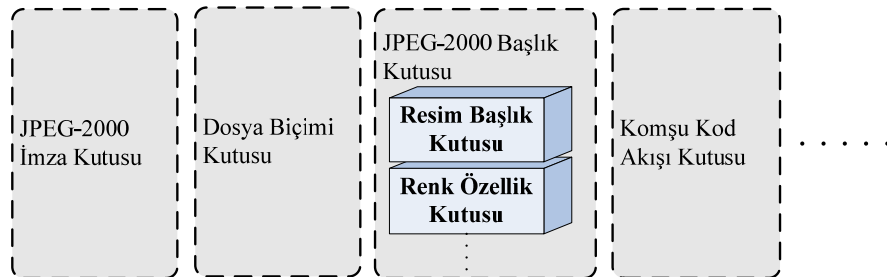


**Şekil 2.20 :** Dosya biçimi kutu (box) yapısı.

Burada TBOX alanı kutu tipini tanımlamakta olup LBOX kutu uzunluğunu göstermektedir. XLBOX alanı kutu uzunluğunu ifade etmek için 32bitlik alanın yetmemesi durumunda 64 bitlik uzunluk bilgisini ifade etmek için kullanılır. DBOX alanı ise ilgili kutuya özel verileri içermektedir. Gerekmesi durumunda DBOX alanı içerisinde yeni bir kutu tanımı da yapılabilir. JPEG–2000 standardında tanımlanmış olan kutu tiplerinden bir kısmı Çizelge 2.8’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.8 :** JP2 Dosya biçimi kutu tipleri.

| Kutu Tipi         | Tanımı                                                                                       |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| JPEG–2000 İmzası  | Dosyanın JPEG-2000 dosyası olduğunu belirten imza. JP2 dosyaları için her zaman ilk kutudur. |
| Dosya Tipi        | Dosya tipi versiyonunu belirtir.                                                             |
| JPEG–2000 Başlığı | Dosyanın içerdiği kodlanmış akış ile ilgili bilgilerinin bulunduğu kutuları içerir.          |
| Resim Başlığı     | Resim ile ilgili boyut gibi temel bilgileri içerir.                                          |
| Renk Özelliği     | Örneklerin renk paleti bilgisini içerir.                                                     |
| Bitişik Kod akışı | Kod akışını içerir.                                                                          |



**Şekil 2.21 :** JPEG–2000 dosya biçimi genel yapısı

JPEG–2000 dosyası temelinde bir kutu akışı olarak tanımlanabilir. Bazı kutu yapıları diğerlerini içerebilecek şekilde hiyerarşik bir yapıda tanımlanmış olup, genel dosya yapısı Şekil 2.21’de gösterilmiştir. Dosya yapısı kullanılarak kod akışı işaretçilerini değerlendirmeden içerdiği resim ile ilgili bilgiler elde edilebilmektedir. Tanımlanan dosya yapısı ile kutular kullanılarak video ve resim yakalama gibi uygulamalara özel bilgiler de dosyaya dahil edilebilmektedir. JPEG–2000 (JP2) dosya biçimi için dosya ismi uzantısı olarak “jp2” kullanılmakta olup, detaylı bilgi [36]’da verilmiştir.

### **3. MJPEG–2000 VE İLGİ BÖLGESİ (ROI) KULLANARAK KODLAMA**

Bu bölümde hareketli görüntüleri çerçeve içi kodlamak için önerilen MJPEG–2000 standardından ve resim içerisindeki belirli bir bölgeyi önceliklendirmek için kullanılan JPEG–2000 ROI yöntemlerinden bahsedilecektir.

#### **3.1 MJPEG–2000**

MJPEG–2000 video sıkıştırmak için kullanılan ve ISO tarafından önerilen bir çerçeve içi kodlama standardıdır. İlk olarak 2002 yılında JPEG–2000 standardının 3. bölümü ISO 15444-3 [17]’de sunulmuş olup, 2007 yılında revize edilmiştir. Diğer video sıkıştırma standartlarından farklı olarak resimler (çerçeveler) arası ilişkiye dayalı “inter” kodlama modu kullanılmayıp her çerçeve birbirinden bağımsız olarak JPEG–2000 kodlama sistemi ile kodlanmaktadır. Dosya formatı ISO temel medya formatı [18] baz alınarak oluşturulmuştur.

MJ2 veya MJP2 olarak da bilinen standart pek çok stüdyo ve üreticinin oluşturduğu “Digital Cinema Initiatives” (Dijital Sinema Teşebbüsü) Konsorsiyum’u tarafından ana dijital sinema formatı olarak seçilmiş ve Amerikan kongresi tarafından hareketli görüntüler için resmi sayısal saklama formatı olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra yüksek çözünürlüklü medikal görüntüleme ve uydu görüntülemesi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

MJPEG–2000 temelde JPEG–2000 ile kodlanmış çerçeveleri içeren bir medya taşıyıcısı formatıdır. Standard [17] içerisinde uzantısı “mj2” olarak belirlenen dosya formatı, video ve ses bilgisini taşımak için gerekli başlık ve işaretçiler yanısıra farklı çözücüler için uygunluk ölçütleri tanımlanmıştır.

#### **3.2 İlgi Bölgesi (ROI) ve Kullanılan Yöntemler**

Pek çok görüntü sıkıştırma uygulaması resim içerisindeki belli bir bölge için önceliklendirme yapabilmektedir. Bu özelliğe, çalışmanın başında da bahsedildiği üzere, İlgi Bölgesi Kodlaması (Region Of Interest) veya kısaca ROI denmektedir.

ROI uygulamaları ile ilgili ilk çalışmalar 90'ların sonunda Strom ve Cosman (1997)[21], Nister ve Christopoulos (1998)[22] ile gerçekleşmiştir. Daha güncel olarak kullanılan resim ve hareketli görüntü kodlama metotları SPIHT[23], SPECK[24], ve PROGRES[25] sistemleri de ROI kodlamasını desteklemektedir.

Son resim kodlama standardı olan JPEG–2000 ile iki tane ROI kodlama yöntemi önerilmiştir. ISO 15444-1[7] standardında önerilen Maxshift yöntemi ve ISO 15444-2[9] standardında önerilen Ölçeklendirme yöntemi. Bu yöntemler ile kodlayıcıya istenilen altbant örneğinin önceliğini belirleyebilmesi sağlanıp, istenilen geometride ve büyüklükte ROI belirlenme esnekliği tanınmıştır. Her iki yöntem de ilgili örneklerin kuantalanmış dönüşüm katsayılarını öteleyerek (veya ölçekleyerek) daha yüksek bit düzlemlerine taşıyarak önceliklendirme yapar. Standartta tanımlanan bu iki yöntemin yanı sıra 2.6.3 (Bit oran kontrolü ve bozulma optimizasyonu) bölümünde bahsedilen EBCOT mekanizması kullanılarak örtülü (implicit) ROI kodlaması yapılabilmektedir. Bu mekanizma, kod bloklarının sistemin çıkışındaki kod akışına katkısını ve akışa dahil edilme sırasını belirlemektedir. Bu şekilde öncelikli olan kod blokları daha yüksek katmanlara dahil edilerek sisteme basit bir ROI yeteneği sağlayabilmektedir. Bu bölüm içerisinde bu yöntemlerin detaylarından bahsedilecektir.

Resim içerisinde öncelikli veya kaliteli kodlanmak ve iletilmek istenilen bölge – bölgeler önplan (foreground) olarak adlandırılıp, bu önceliklendirmeye dahil olmayacak alanlar arkaplan (background) olarak adlandırılacaktır.

### 3.2.1 Ölçeklendirme ile önceliklendirme

JPEG–2000 tarafından kod blok boyutlarından daha detaylı ROI tanımlamak için önerilen yöntem, önemli olan altbant örneklerinin kuantalanmış değerlerini pozitif bir  $U$  değerine göre  $2^U$  ile ölçeklendirme işlemidir. Başka bir deyişle daha önemli (ilgi bölgesine ait) altbant örneklerinin kuantalanmış değerleri  $U$  bit kadar ötelenmiştir. Buna bağlı olarak alıcı tarafın ötelenmiş örneklerin hangileri olduğunu bilmesi gerekmektedir.

Blok kodlayıcının her  $B_i$  kod bloğu için gömülü ifade olarak adlandırılan bir bit dizisi oluşturduğundan daha önce bahsedilmiştir. Önceki bölümde ifade edildiği üzere  $p_i[j]$  parametresi  $y_i[j]$  altbant örneğinin kuantalanmış değeri olan  $v_i[j]$  'den  $B_i$  kod

bloğu için atılan en düşük ağırlıklı (LSB) bit sayısını göstermekte olup kuantalama adım aralığına etkisi (2.36) ifadesinde gösterilmiştir. ROI uygulaması için  $y_i[j]$  örneğine uygulanacak öteleme büyüklüğü  $U_i[j]$  olarak tanımlansın. Buna göre blok kodlayıcının işleyeceği ROI bölgesine ait ötelenen kuantalanmış değerler ( $\tilde{v}_i[j]$ ) ve kod çözücünün bu değerleri kullanarak katsayıları yeniden elde etme işlemi (3.1) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}\tilde{v}_i[j] &= 2^{U_i[j]}.v_i[j] \\ v_i[j] &= 2^{-U_i[j]}. \tilde{v}_i[j]\end{aligned}\tag{3.1}$$

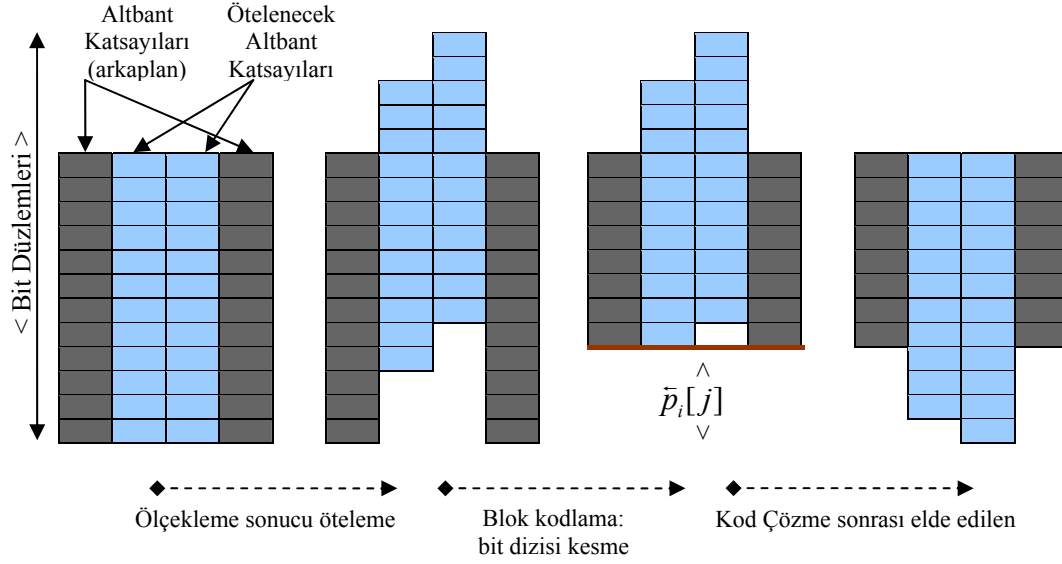
$B_i$  kod bloğu için blok kodlayıcının ötelenmiş değerden attığı LSB sayısını  $\tilde{p}_i[j]$  ile gösterilmekte olup, yeniden elde etme işlemi sonrası ROI bölgesi katsayıları içine eksik LSB sayısı (3.2) ve efektif kuantalama adım aralığı (3.3) şu şekildedir:

$$p_i[j] = \max \{0, \tilde{p}_i[j] - U_i[j]\}\tag{3.2}$$

$$\Delta_i[j] = 2^{\max \{0, \tilde{p}_i[j] - U_i[j]\}} . \Delta_{b_i}\tag{3.3}$$

Buna göre  $\tilde{p}_i[j] > 0$  iken önceliklendirilmiş altbant katsayıları için kuantalama adım aralığı,  $U_i[j]$  ile orantılı olarak daha küçüktür. Şekil 3.1’de öteleme işleminin kodlanan kuantalanmış örneklerin bit düzlemlerine etkisi gösterilmiştir.

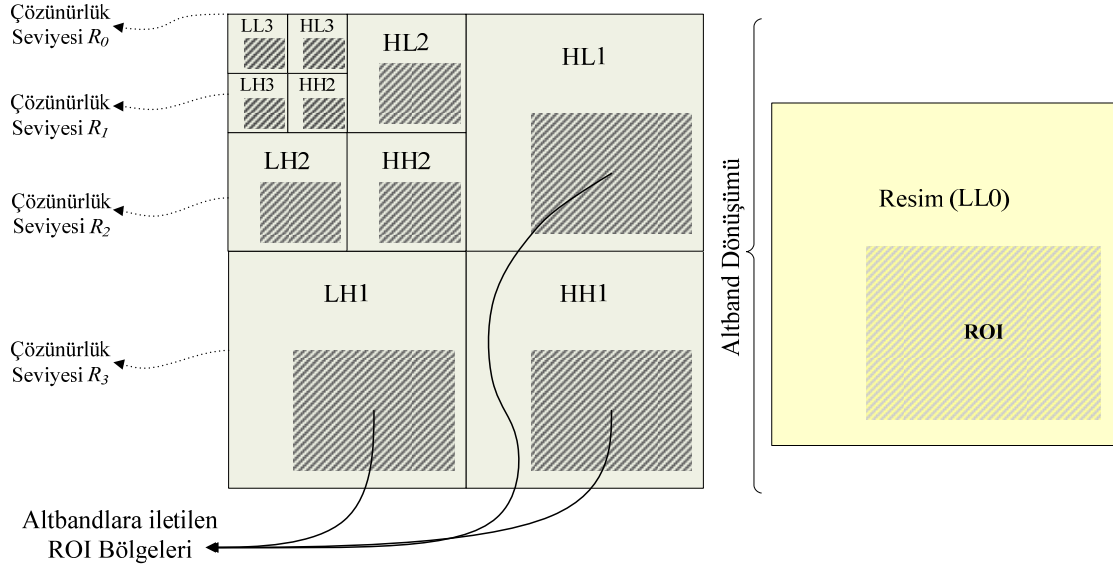
Gösterim kolaylığı açısından normalde her kuantalanmış dönüşüm katsayısı örneği için farklı olabilen kesim noktaları (bit düzlemi öteleme işlemi sonrasında blok kodlayıcıda hesaplanıp, PCRD sistemi ile seçilen) tüm örnekler için  $\tilde{p}_i[j] = 4$  olarak seçilmiştir. Burada blok kodlayıcının öteleme işleminden bağımsız olarak bit düzlemlerini kodladığı açıkça görülmektedir. Öteleme işlemi sonrasında ötelenmemiş örneklerin MSB düzlemleri 0, ötelenmiş örneklerin LSB düzlemleri 0 olarak doldurulmuştur. Kodlayıcının kod çözücü sistemlere öteleme miktarını bildirmesi durumunda, kod çözücü örneklerden atılacak 0 miktarını hesaplanabilmektedir. Artık 0 değerlerinin bilinmesi, kodlama işlemini verimli hale getirirken bu işlem daha fazla bit düzlemi ile işlem yapan kodlayıcının karmaşıklığını arttırmaktadır.



**Şekil 3.1 : ROI için ölçeklendirme işleminin kod bloğu bit dizisi kesme işlemi sonrası bit düzlemlerine etkisi**

### 3.2.1.1 Bölge eşleme

Ölçeklendirme ile önceliklendirme yöntemi kodlayıcının hangi altbant örneklerinin önplana ( $F_b$ ) dahil olacağı seçimine herhangi bir kısıtlama getirmemektedir. Fakat kodlayıcının resim üzerinde belirlenen önplan  $F$  örneklerini altbantlar içerisindeki  $F_b$  bölgelerine eşlemesi gerekmektedir.



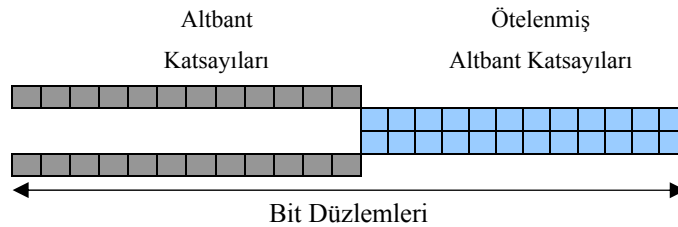
**Şekil 3.2 : ROI Bölgelerinin altbantlara taşınması**

Bölge eşleme işlemi ADD yapısı nedeniyle basitleşmiştir. Örnek olarak Şekil 2.7 gösterilen ağaç yapısına göre dönüşümün her aşamasında bir önceki aşamadan gelen LL altbandını takip ederek  $F_{LL0}=F$  bölgesine ulaşılabilir.

Burada altbant dönüşümü esnasında resim domeninde tanımlanan ROI bölgesi maskesi alt çözünürlüklere taşınırken, bir önceki çözünürlükten gelen 2 örnek değerinden herhangi biri ROI alanına dahil ise alt çözünürlükte ilgili örnek ROI olarak işaretlenmektedir.

### 3.2.2 Maxshift yöntemi

JPEG–2000 standardının 2. kısmı 15444-2 [9] istenilen  $U$  öteleme değerlerinin kullanımına imkan sağlayacak esneklikte ROI tanımlamasına izin verirken, standardın 1. kısmı[7] “Maxshift” yöntemi ile belli bir alt sınıra göre ölçeklendirmeye izin vermektedir. Önceliklendirmeye tabi tutulacak örnek değerleri kümesine önplan ( $F_b$ ) dersek Maxshift yöntemine göre bu kümedeki tüm örnek değerleri tek bir  $U$  değerine göre ötelenmektedir. Ayrıca öteleme için kullanılacak  $U$  değeri kuantalanmış örneklerin ifadesi için gerekli bit sayısından daha fazla olmalıdır (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3 :** Maxshift yöntemi ile kuantalanmış altbant katsayılarının ötelenmesi.

Buna göre kodlayıcı  $U$  değerini (3.4) sınırına göre seçmelidir. Kullanılan  $U$  değeri oluşturulan kod akışında Çizelge 2.7 da gösterilen RGN işaretçisi içerisindeki SPrgn parametresi ile belirtilmektedir.

$$U \geq \max_b K_b^{\max} \quad (3.4)$$

Buna göre kodlayıcı örnek değerlerini (3.5) ifadesine göre düzenlerken, kod çözücü (3.6) ifadesine göre yeniden elde etmektedir.

$$\tilde{v}_b[n] = 2^{U_b[n]} \cdot v_b[n] = \begin{cases} v_b[n] & (n \notin F_b) \\ 2^U v_b[n] & (n \in F_b) \end{cases} \quad (3.5)$$

$$v_b[n] = 2^{-U_b[n]} \cdot \tilde{v}_b[n] = \begin{cases} \tilde{v}_b[n] & (\tilde{v}_b[n] < 2^U) \\ 2^{-U} \tilde{v}_b[n] & (\tilde{v}_b[n] \geq 2^U) \end{cases} \quad (3.6)$$

Bu şekilde kod çözücü işlediği her altbant örneğinin önplana ait olup olmadığını kendisi belirleyebilmektedir. Çünkü arkaplan ve önplan örnekleri şu şekilde sınırlanmıştır (3.7):

$$\begin{aligned} \tilde{v}_b[n](arkaplan) &= v_b[n] < 2^{K_b^{\max}} \leq 2^U \\ \tilde{v}_b[n](önplan) &\geq 2^U \end{aligned} \quad (3.7)$$

Maxshift yönteminin en önemli avantajı, önceliklendirilen örneklerin yerini kod çözücüye bildirmek için kod akışı içerisinde  $U$  parametresi dışında herhangi bir ekstra bilgiye ihtiyaç duymamasıdır. Bununla beraber yöntemin dezavantajı, kullanılan  $U$  değerinin büyüklüğü nedeniyle ön plana ait katsayıların arka planın bit düzlemlerinin önünde yer alması nedeniyle kod çözücü tarafında önplana ait tüm katsayılar çözülmeden arkaplan katsayılarının elde edilememesidir.

Yöntemi blok kodlayıcı açısından inceleyecek olursak, öteleme işlemi sonrasında  $b$  altbandı için elde edilen kuantalama katsayıları  $\tilde{v}_b[n]$  değerlerini ifade etmek için gerekli bit (veya bit düzlemi) sayısı  $\tilde{K}_b^{\max}$  (3.8) ifadesine göre artmaktadır.

$$\begin{aligned} \tilde{K}_b^{\max} &= K_b^{\max} + U \\ &= U + \max\{0, \varepsilon_b + G + 1\} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Bu değer kod çözücünün çözülmüş kuantalama değerlerini ( $\tilde{v}_b[n]$ ) ifade etmek için kullandığı bit sayısından fazla olabilir. Bu durumda kod çözücü kod blok bit dizilerinin kullanabileceği maksimum MSB düzeyini kullanacaktır. Benzer durumla kuantalama ve aralık belirleme için kullanılan  $\varepsilon_b$  parametresinin büyük seçilmesi durumunda da karşılaşılacaktır. Kod akışı içerisinde RGN işaretçisi ile 0 ile 255 arasında bir  $U$  değeri seçilebilmektedir. Fakat koruma biti  $G$  için üst sınır 7 olup,  $\varepsilon_b$  için sınır değerleri denklem (2.23) 'de verilmiştir. Buna göre  $K_b^{\max}$  değeri 37'i geçememektedir. Dolayısıyla (3.4) ifadesi  $U \leq 37$  için de her zaman sağlanmaktadır.

Maxshift yöntemi kullanımının blok kodlayıcı açısından bir dezavantajı, öteleme için eklenen  $U$  yeni bit düzlemi için ekstra kodlama geçişi yapılacak olmasıdır.

### 3.2.2.1 İyileştirme çalışmaları

JPEG–2000 standardının ikinci kısmında (ISO 15444-2 [9])  $U$  değerinin herhangi bir kısıt olmadan seçilebileceği ölçekleme temelli ROI tanımlamasına imkan sağlanmıştır. İlk olarak Grosbois ve diğ. (2001) çalışmasında ortaya konan yöntemle göre arkaplan ve önplan alanları arasında değişken ölçüde önceliklendirme yapılmaktadır [20]. Bu durumda (3.4)'de gösterilen sınır olmaması nedeniyle arka plan ve önplan katsayıları ortak bit düzlemlerini paylaşabilmektedir. Dolayısıyla Maxshift yönteminde olduğu gibi kod çözücünün ön ve arka plan katsayılarını ekstra bir bilgi olmadan ayırabilmesi söz konusu değildir. Önplan örneklerine ait katsayıların istenilen miktarda ötelenebilmesine olanak sağlayan bu yöntem, kod çözücünün ROI bölgesini tanımlayabilmesi için ROI şekil bilgisinin de gönderilmesini gerektirmektedir. Standartta eklenen yeni başlık ve işaretçi alanları ile basit dikdörtgensel ve eliptik ROI şekil bilgileri iletilebilmektedir. Fakat sınırlı şekil bilgisi iletimi ve bu bilginin getirdiği ekstra bit maliyeti nedeniyle sınırlı bit oranı kullanan uygulamalarda tercih edilmemektedir. Başka bir dezavantajı ise standardın 1. kısmında (ISO 15444-1 [7]) tanımlanan temel kod çözücünün ROI şekil iletimi için JPEG–2000 standardının uzantısı olan 2. kısmında (ISO 15444-2 [9]) tanımlanan bu başlık bilgilerini desteklememesidir.

Son 5 yıl içerisinde tanımlanan Maxshift ve sonraki bölümde bahsedilecek örtülü kodlama metotlarını iyileştirmek için farklı yöntemler önerilmiştir [27]-[30]. Çalışmalarda genelde amaçlanan düşük öncelikli bit düzlemlerini ROI alanı ve arkaplan için daha belirgin kodlayabilmektir. Fakat önerilen yöntemlerin hepsi standart dışı JPEG–2000 kod akışları oluşturulmasını gerektirmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra Maxshift metodu ile oluşan ön – arka plan kalite farkını azaltmak ve bölgeler arası önceliklendirme yapabilmek için ROI bölgelerinin seçimli altbantlara taşınması yöntemi (SCMS) önerilmiştir [31]. Benzer şekilde kalite farkını gidermek için bölgelerden belli örneklerin atılması temeline dayanan Kitaura ve Muneyasu (2006) çalışmasında belirtilen yöntem ve benzeri yöntemler önerilmiştir [32].

### 3.2.3 Örtülü ROI kodlama

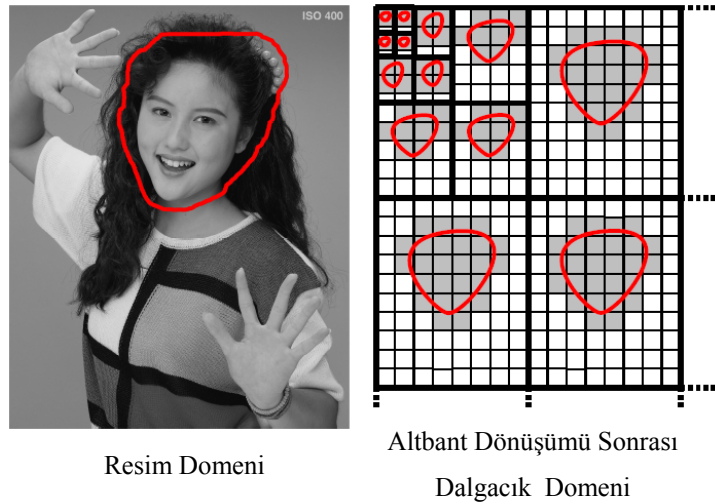
Daha önce kodlama sistemleri bölümünde bahsedildiği üzere, blok kodlayıcı tarafından oluşturulan bit dizileri kodlama sonrası bit oranı bozulma optimizasyonu için bozulma metrikleri (MSE) hesaplanarak (PCRD) oluşturulan kod akışına dahil edilmektedir. JPEG–2000 kodlama sistemi içerisinde bu yöntem ROI tanımlaması için de kullanılabilir. Yöntem, Taubman ve Marcellin (2002) kitabının 16.2 bölümünde sunulmuş ve örtülü kodlama olarak adlandırılmıştır [6]. Bu yöntemde, seçilen ROI bölgesi örneklerini içeren kod bloklarının blok kodlayıcı tarafından oluşturulan bit dizileri, kod akışına katılım miktarları artırılarak ROI kodlaması yapılmaktadır.

Örtülü ROI tanımlaması için kodlama geçişindeki  $D_i^{n_i}$ , bozulma tahmini değeri (metriği) ROI tanımı doğrultusunda önceliklendirilmek istenilen kod blokları için  $D_i'^{n_i} = R_w \cdot D_i^{n_i}$  olarak  $R_w$  ağırlıklandırma katsayısı ile ölçeklenmektedir. Bozulma maliyeti hesabındaki  $D_i^{n_i}$  değerinin ölçeklendirilmesi (2.35) ifadesine göre bu kod bloğunun değerini, dolayısıyla kod akışına katılan bit düzlemi sayısını arttıracaktır. Burada bozulma metriğini ölçekleme işlemi, kuantalanmış altband katsayılarını (bit düzlemlerini) öteleme işlemi ile benzer şekilde etki etmektedir. Bu şekilde blok kodlayıcı ve öncesinde, ROI tanımı için örnek değerlerine herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır. Kodlama ve kod akışı içerisinde herhangi bir tanımlama yapmamasından ötürü bu yöntem, örtülü ROI kodlama olarak adlandırılmıştır.

Burada üzerinde durulması gereken konu, önceliklendirmenin örnek yerine kod blokları için yapılabilecek olmasıdır. Maxshift yönteminden farklı olarak örtülü ROI ifadesi için önplana çıkarılacak olan bölge, kod bloklarından oluşmalıdır. Dolayısıyla kod bloğu büyüklüğünden daha küçük ROI bölgesi tanımı yapılamayacaktır. Yöntemin Maxshift ile kıyaslandığında en büyük dezavantajı, ROI bölgesi tanımının kod blok büyüklüğü detayından daha küçük detayda olamamasıdır. Başka bir deyişle önceliklendirmenin kod blokları bazında yapılabilmesidir. Ancak ROI bölgesinin ağırlıklandırma veya önceliklendirme miktarında bir kısıt yoktur. Bu yöntem ile ROI bölgesi Maxshift'ten farklı olarak istenilen miktarda ağırlıklandırılabilir. Bununla beraber kullanılan kod bloğu büyüklüğünün azaltılması kullanılan başlık bilgisi miktarını arttıracığından, toplam bit oranını az da olsa arttırmaktadır. Örneğin

standartta izin verilen maksimum kod blok büyüklüğü olan 64x64 yerine 32x32 bloklar kullanmak bit oranını 0,08 bit/örnek kadar arttırmaktadır.

Blok bazlı önceliklendirme kullanmanın başka bir dezavantajı resim domeninde yapılan bölge tanımının altbantlara iletilmesi esnasında ortaya çıkmaktadır. ROI bölgesi içerisinde yer alan örnekleri altbantlara taşınırken altbant kod blokları içerisine herhangi bir ROI bölgesi (önplan) örneği düşmesi durumunda ilgili kod bloğu örtülü ROI kodlaması dahilinde önceliklendirilerek kod akışına dahil edilecektir. Önceliklendirme işlemi için tüm ROI bölgesi kod bloklar aynı ağırlıklandırma katsayısına göre bozulma metrikleri ölçeklenerek kodlama sonrası PCRD optimizasyonuna tabi tutulacaktır. Dolayısıyla sadece bir önplan örneği içeren kod bloğu ve tüm örnekleri ön plana dahil kod bloğu aynı miktarda ötelenmektedir. Bunun örneği Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Gösterim kolaylığı açısından ROI bölgesinin taşındığı en düşük 4 çözünürlük gösterilmiştir.



**Şekil 3.4 :** ROI Bölgelerinin örtülü kodlama için altbantlara taşınması[26].

Bu dezavantajı gidermek için [26] çalışmasında yeni bir örtülü kodlama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde tüm önplan örneği içeren kod bloklarını aynı katsayı ile ağırlıklandırmak yerine her blok için içerdiği önplan örneği sayısına göre ayrı katsayı kullanımı tercih edilmiştir. Buna göre kod bloğu için bozulma metriği (bit oranı bozulma katılımı) kararı için iki yöntem bulunmaktadır (3.9), (3.10).

İlk yöntem  $R_w$  ağırlıklandırma katsayısını, bozulma metriği hesabına dahil etmektir. Önplana ait örnek değerleri,  $R_w$  ile ağırlıklandırılıp ilgili kod bloğu için için  $D_i^{n_i}$  hesabı yapılmaktadır.

$$D_i^{n_i} = w_{b_i}^2 \sum_{k \in B_i} \begin{cases} (y[k] - \hat{y}^{n_i}[k])^2 * R_w, & y[k] \in ROI \\ (y[k] - \hat{y}^{n_i}[k])^2, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.9)$$

Burada  $w_{b_i}$  dalgacık dönüşümü altbant kazanç katsayısıdır.  $\hat{y}^{n_i}[k]$  değeri  $n_j$  kesim noktaları için elde edilen kuantalanmış dönüşüm katsayısı olup  $y[k]$   $B_i$  kod bloğu için orijinal katsayılarıdır.

İkinci yöntem ise  $B_i$  kod bloğu içerisindeki ROI örneklerinin blok içerisindeki örnek sayısına oranı olan  $RWF_i$  (ROI Weighting Factor) değeri kullanılarak  $D_i^{n_i}$  hesabı yapılmasıdır.

$$D_i^{n_i} = R_w * D_i^{n_i} * RWF_i \quad (3.10)$$

Buna göre aynı  $R_w$  parametresi kullanılarak kod bloklarının bit oranı bozulma hesabına katılımları daha hassas bir ROI, arkaplan ayırımı yapılarak hesaplanmıştır.

### 3.3 Hareketli Görüntüler İçin ROI Çalışmaları

ROI özelliği görüntü içerisinde ilgilenilen alanı öne çıkararak özellikle sınırlı bit oranı uygulamaları için kullanılabilecek bit miktarını ilgili bölgelere göre paylaşmak amacıyla kullanılabilmektedir. Hareketli akış içerisinde ROI kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar çoğunlukla [33] çalışmasında olduğu gibi akış içerisinde bölge belirleme üzerinedir. Bunun yanı sıra çerçeveler arasında hareketin olduğu değişen alanın kodlanmasına ihtiyaç duyan güvenlik kameraları gibi uygulamalar için de ROI kodlama yöntemleri önerilmiştir [35]. Bu çalışmaların tümünde kullanılacak ROI yönteminden bağımsız olarak uygulamalar önerilip, yöntem seçimi açık bırakılmıştır.

#### **4. DÜŞÜK GECİKMELİ ÇERÇEVE İÇİ VIDEO KODLAMA İÇİN ROI UYGULAMALARI**

Çalışmadaki temel amaç video kodlama için MJPEG–2000 standardını kullanarak önceki bölümde bahsedilen ve sabit görüntüler için önerilen ROI kodlaması yöntemlerinin hedeflenen bir bit oranı içerisinde kalmak koşuluyla (kayıplı) düşük gecikmeli çerçeve içi video kodlamasına uygulamasını incelemek ve karşılaştırmaktır.

Bu bölümde inceleme için kullanılan test ortamı ve parametrelerden bahsedilip kullanılan yöntemlerin ilgi bölgesi kalitesine, tüm çerçevenin kalitesine ve bit oranına etkisini incelemek için sonuçlar verilecektir.

Çerçeve içi video kodlama uygulamasında kodlayıcıya hedef olarak verilen sabit bit oranı için ROI kodlamasının etkileri gözlemlenmeye çalışılmıştır.

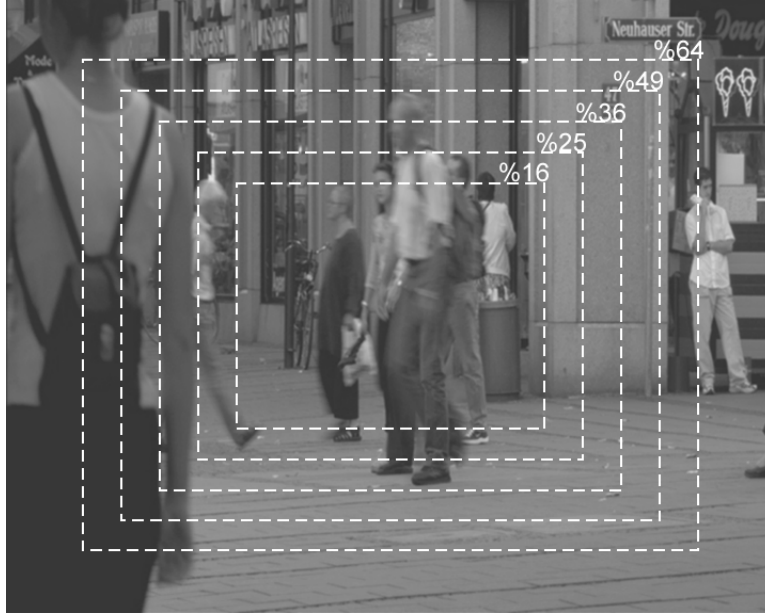
##### **4.1 Test Ortamı ve Test Yöntemi**

Test edilecek yaklaşımlarda ve farklı uygulamalarda JPEG–2000 standardında[7] tanımlanan temel (profil1 ve profil2) kod çözücünde herhangi bir değişiklik yapılmadan kodlayıcı sisteminde farklı noktalarda değişiklikler yapılmıştır. Dolayısıyla kod çözücünde değişiklik gerektiren yöntemler incelenmemiştir.

Test için kullanılan 4 temel ROI kodlama yöntemi şu şekildedir:

1. JPEG–2000 standardı ISO 15444-1’de tanımlanan Maxshift yöntemi [7].
2. Taubman ve Marcellin (2002) kitabında tanımlanan örtülü ROI kodlama yöntemi [6].
3. Tahoces, ve diğ (2008) çalışmasında anlatılan seçimli altbantları kullanarak (Selective Coefficient Mask Shift, SCMS) Maxshift yöntemi [31].
4. Bartrina ve diğ (2008) çalışmasında anlatılan ağırlıklandırılmış örtülü ROI kodlama yöntemi [26].

Bu yöntemlerin MJPEG–2000 ile video kodlama uygulamalarında kolaylık açısından ROI bölgesi şekli olarak resmin ortasında basit dikdörtgensel alanlar seçilmiştir (Şekil 4.1) ve çerçeveler arasında bölge konumları değiştirilmemiştir.



**Şekil 4.1 :** Kullanılan ROI bölgeleri ve büyüklükleri.

MJPEG–2000 kodlaması için Kakadu [34] referans yazılımı kullanılmıştır. İlk iki yöntemi içeren bu referans yazılıma 3. ve 4. ROI kodlama yöntemleri kodlayıcı sistemine çalışmalarda açıklandığı üzere uygulanmıştır.

Testlerde kullanılan videolar ise ortak olarak 720x576 çözünürlüğünde 4:2:0 olarak örneklenmiş 3 bileşenden (YCbCr) oluşmakta ve her bileşen için 8bit/örnek içermektedir. Videolar 100 çerçeveden oluşmakta ve 25 çerçeve/sn hızındadır.

Testlerde kullanılan ortak parametreler ve değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Testlerde kullanılan parametrelerin etkisi iki temel kriter için incelenecektir. Birincisi kodlayıcının çerçeve başına harcadığı bit miktarıdır. İkincisi ise kodlanan video ile kodlanmış video arasında ROI bölgesi ve tüm resim arasındaki farklı ifade etmek için kullanılacak PSNR değeri ve bu değerlerin çerçeveler arası standart sapmasıdır. PSNR değeri tek bir çerçeve için (4.1) ifadesine göre hesaplanmaktadır. Burada  $MAKS_I$  bir pikelin alabileceği maksimum değeri temsil eder ve 255 olarak kullanılır. MSE ise (4.2)’de ifade edildiği gibi, m çerçeve yüksekliği, n çerçeve genişliği olmak üzere kıyaslanan iki çerçevenin ( $y$  ve  $\hat{y}$ ) arasındaki ortalama karesel hatayı göstermektedir.

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAKS_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4.1)$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|y(i, j) - \hat{y}(i, j)\|^2 \quad (4.2)$$

**Çizelge 4.1 :** Testlerde kullanılan ortak parametreler

| Parametre                      | Değeri            |
|--------------------------------|-------------------|
| Xofset, Yofset                 | (0,0)             |
| Çerçeve boyutları (Xsiz, Ysiz) | (720,576)         |
| Karo Sayısı                    | 1                 |
| Bileşen Sayısı                 | 3 (Y,,Cb,Cr)      |
| Bileşen Örnekleme              | 4:2:0             |
| Paket kod blok sıralaması      | LRCP              |
| Altbant ayrıştırma seviyesi    | 5, 7, 10          |
| Altbant dönüşümü               | 9/7               |
| G (koruma biti)                | 1                 |
| Kod bloğu büyüklüğü            | 64x64,32x32,16x16 |
| Çerçeve Oranı                  | 25 çerçeve/sn     |

## 4.2 Sonuçlar

Açıklanan 4 yöntemin video uygulamaları için çerçevelerin ortasında dikdörtgensel bir alan, öncelikli olarak kodlanması için ROI bölgesi olarak seçilmiştir. Kalite değerlendirmesi için kodlanmış video ile orijinal video'nun çerçeveleri arasındaki PSNR değerleri hesaplanıp ortalaması alınmıştır.

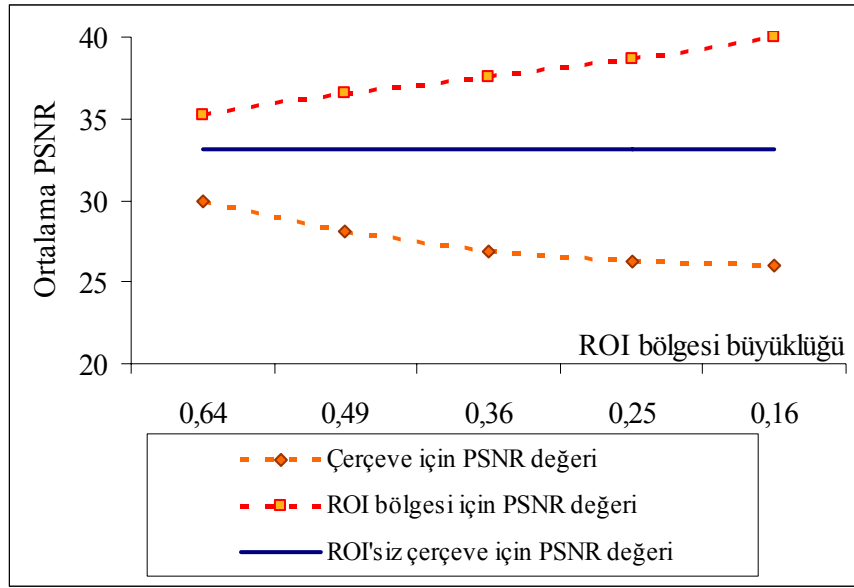
Kodlama işlemi kodlayıcıya hedef bir bit oranı değeri verilerek yapılmıştır. Bu şekilde bit oranı optimizasyon sistemi  $R_{max}$  olarak belirtilen hedef değere ulaşmak için Lagrange çarpanlarını kullanarak ideal kuantalama adım aralığını ve kod bloklarının  $D$  bozulma metriklerine göre ideal kod bloklarını belirlemektedir.

#### 4.2.1 Maxshift yöntemi

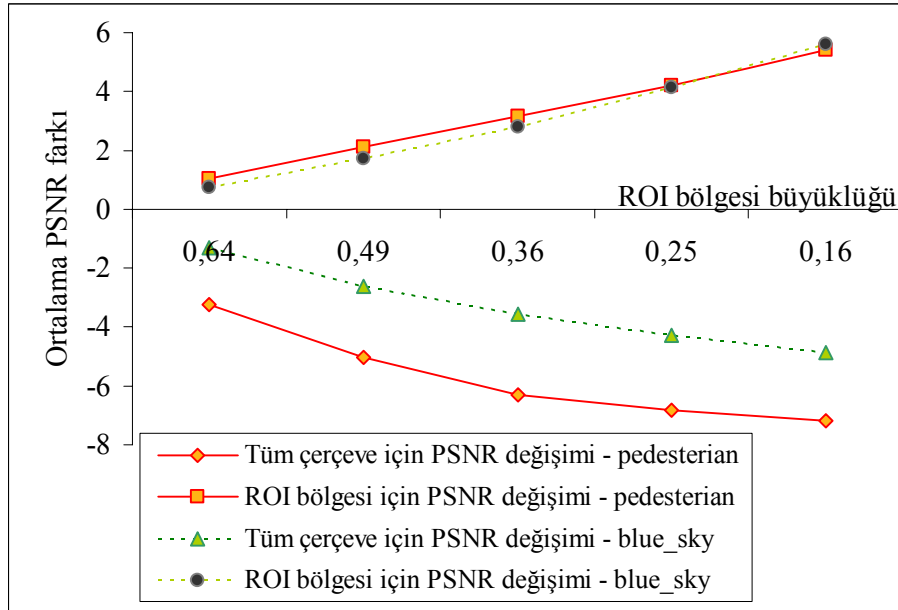
Bölüm 3.2.2’de anlatılan Maxshift yönteminin video’ya uygulaması için tersine-çevrilemez dönüşüm (CDF 9/7) kullanılmış ve ADD için 5 ayrıştırma düzeyi seçilmiştir. Giriş video’su bileşen başına 8bit/örnek içerdiği için referans Taubman ve Marcellin (2002)[6] bölüm 17.3.1’de bahsedilen ilgili altband dönüşümü için gerekli bit düzlemi sayısı tablosundan yararlanılarak  $U$  değeri izin verilen minimum değer 14 seçilmiştir. Maxshift yönteminde örnekler üzerinde önceliklendirme yapıldığı için kod bloğu büyüklüğünün herhangi bir etkisi yoktur. Dolayısıyla kodlama başlığı yükünü azaltmak için 64x64’lük kod blokları kullanılmıştır. ROI kodlaması için seçilen önplan bölgeleri Şekil 4.1’de gösterildiği üzere merkezi resmin merkezinde bulunan ve resim ile aynı yükseklik/genişlik oranına sahip dikdörtgensel bölgeler olup videonun tüm çerçevelerinde aynı konumda bulunmaktadır.

Çizelge A.1’de örnek videolar için hedef bit oranı 0,1 bit/piksel için farklı ROI bölgesi büyüklükleri ile yapılan kodlamalar sonucu elde edilen tüm çerçevelerin ortalamaları olarak PSNR değerleri verilmiştir.

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de “pedesterian” ve “blue\_sky” videoları için değişen ROI bölgesi büyüklüğünün çerçeveler arası ortalama PSNR farkına etkisi gösterilmektedir. Burada fark olarak ifade edilen değerler Maxshift ROI kodlaması olmadan sıkıştırılan videonun çerçevelerinin ortalama PSNR değeri ile Maxshift uygulanarak sıkıştırılan videonun çerçevelerinin ortalama PSNR değeri arasındaki farktır. PSNR ölçümü çerçevenin tamamı veya ROI bölgesi (önplan) için yapılmıştır. Kodlama işlemi 0,1 bit/piksel bit oranı sınırlaması ile yapıp tüm videolar için yaklaşık 120 kat sıkıştırma elde edilmiştir.



**Şekil 4.2 :** Maxshift Yöntemi kullanılarak “pedesterian” videosunda değişen ROI büyüklüğünün ortalama PSNR değerine etkisi.



**Şekil 4.3 :** Maxshift Yöntemi kullanılarak değişen ROI büyüklüğü ile “pedesterian” ve “blue\_sky” videolarında ortalama PSNR değişimi.

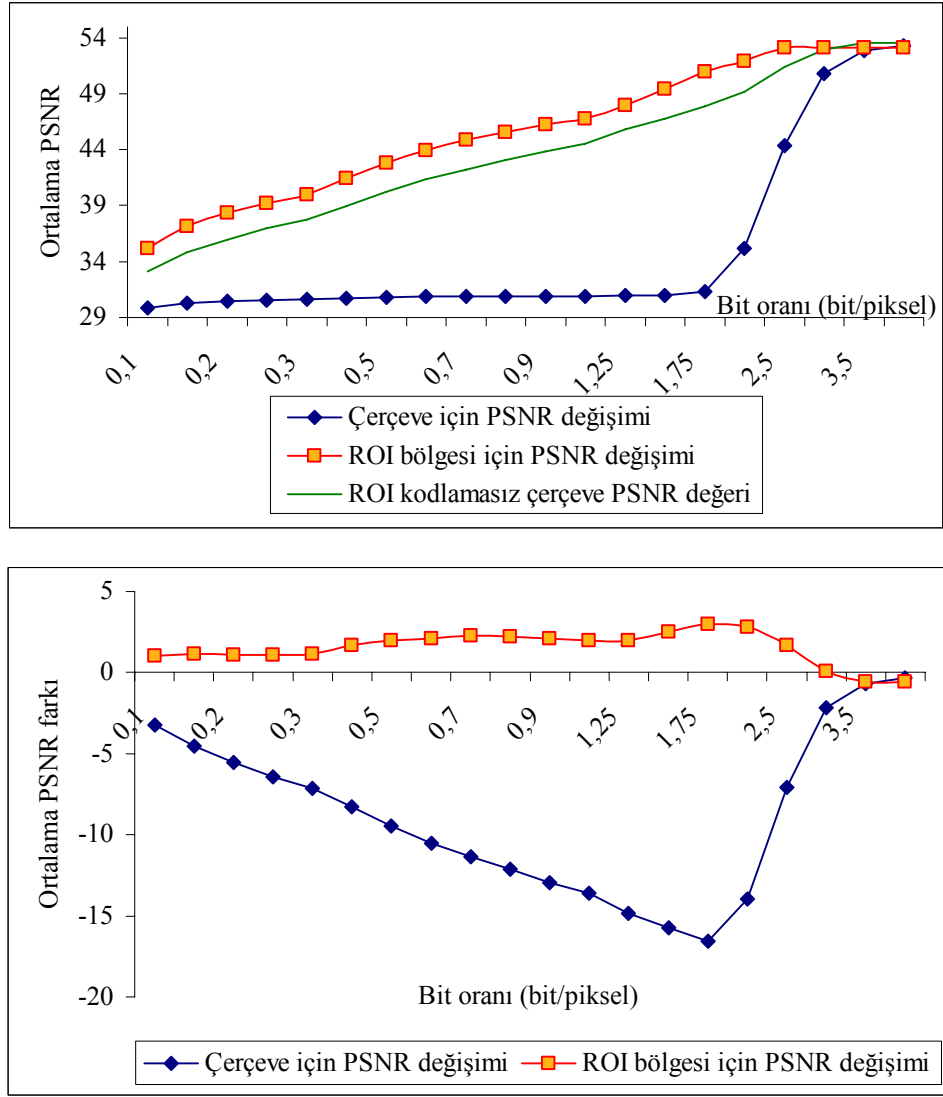
Buna göre önplan bölgesi Maxshift yöntemi ile iyileştirilirken, arkaplana ait dönüşüm katsayılarının alt bit düzlemlerine ötelenmesi işlemi arkaplan bölgesinin ve neticesinde tüm çerçevenin kalitesini düşürmektedir. Seçilen ROI bölgesi büyüklüğü arttıkça blok kodlayıcı hedef bit oranına ulaşabilmek için, MSB düzlemlerinde bulunan önplana ait dönüşüm katsayılarının kod akışına ortalama katılımını

azaltmaktadır. Başka bir değişle ROI bölgesi büyüdükçe MSB düzlemindeki katsayı (önlana ait) miktarı arttığı için hedef bit oranına ulaşmak için ihmal edilecek örneğin önlana ait olma ihtimali artmaktadır. Sonucunda da bölge büyüdükçe kalite artışı azalmaktadır. Önplan örneklerine göre daha az bit düzlemi kullanılarak ifade edilen arkaplan örneklerinin çerçeve kalitesini düşürücü etkisi bulunmaktadır. ROI bölgesi büyüdükçe arkaplan örneklerinin miktarı azaldığı için tüm çerçevenin ROI kodlaması sonrası kalite bozulma oranı azalmaktadır.



**Şekil 4.4 :** Maxshift ROI kodlama için önplan arkaplan geçişi. Solda %64'lük, sağda %25'lik ROI bölgesi, altta geçiş bölgesinin yakınlaştırılmış görüntüsü. (“pedesterian” video’su 55. çerçeve, 0,1 bit/piksel)

Çizelge A.2’de aynı örnek videolar için farklı hedef bit oranları ile resmin %64’ü büyüklüğünde ROI alanı seçilerek yapılan kodlamalar sonucu elde edilen PSNR (tüm çerçeve ortalamaları) değerleri verilmiştir.



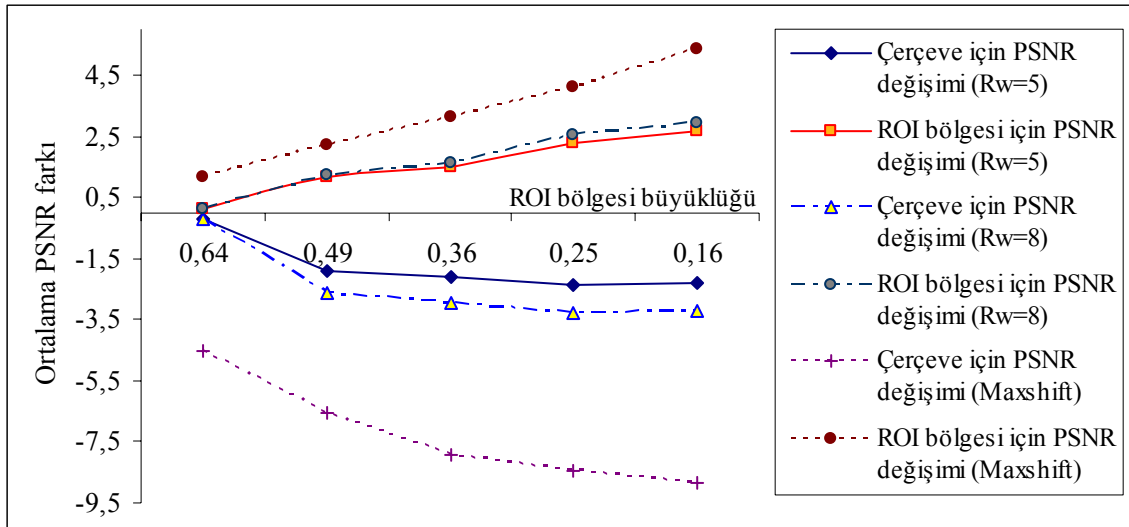
**Şekil 4.5 :** Maxshift Yöntemi kullanılarak değişen bit oranı ile PSNR değişimi.

Şekil 4.5’de “pedesterian” video’su için değişen hedef bit oranının tüm çerçevenin ve ROI bölgesinin PSNR farkına (ROI kullanılmış ve kullanılmamış kodlama arasındaki) etkisi gösterilmektedir. ROI bölgesi olarak çerçevenin %64’ü olan dikdörtgensel bir alan seçilmiş ve hedef bit oranı 0,1 bit/piksel verilmiştir. Görüldüğü üzere artan bit oranı sınırlaması ile önplan kalitesi artmaya devam etmekteyken arka plan kalitesinde fazla bir değişiklik olmamaktadır. Önplan kayıpsıza yakın olarak çözülebildiği bit oranı sınırı (örnekte yaklaşık 2,1 bit/örnek) sonrasında arka plan kalitesi artmaya başlamaktadır. Bu davranışın temel nedeni, öteleme işlemi sonrasında ROI bölgesine ait katsayıların arkaplan bölgesine ait katsayılara göre  $2^U=2^{14}=16384$  kat daha küçük kuantalama adım aralığına sahip olmasıdır. ROI kodlaması olmadan da tüm çerçevenin kalitesinin düşük olduğu düşük bit oranı

sınırlaması altında tüm çerçevedeki PSNR farkı (bozulma) daha azdır. Bit oranı optimizasyonu için Langrange eşitliğine göre çalışan EBCOT sistemi, hedef bit oranına ulaşmak için kod bloğu katılımlarını belirlemektedir. Ölçeklendirme işlemi sonrasında kuantalama adım aralıkları değişen önplana ait katsayılar, blok kodlayıcıda bozulma metrikleri ( $D$ ) arka plana göre daha yüksek hesaplandığı için PCRD aşamasında kod akışına dahil edilmek üzere seçilmektedirler. Yüksek  $U$  parametresi nedeniyle hedef bit oranının artmasına karşın önceliklendirme önplana verilmeye devam etmektedir.

#### 4.2.2 Örtülü kodlama yöntemi

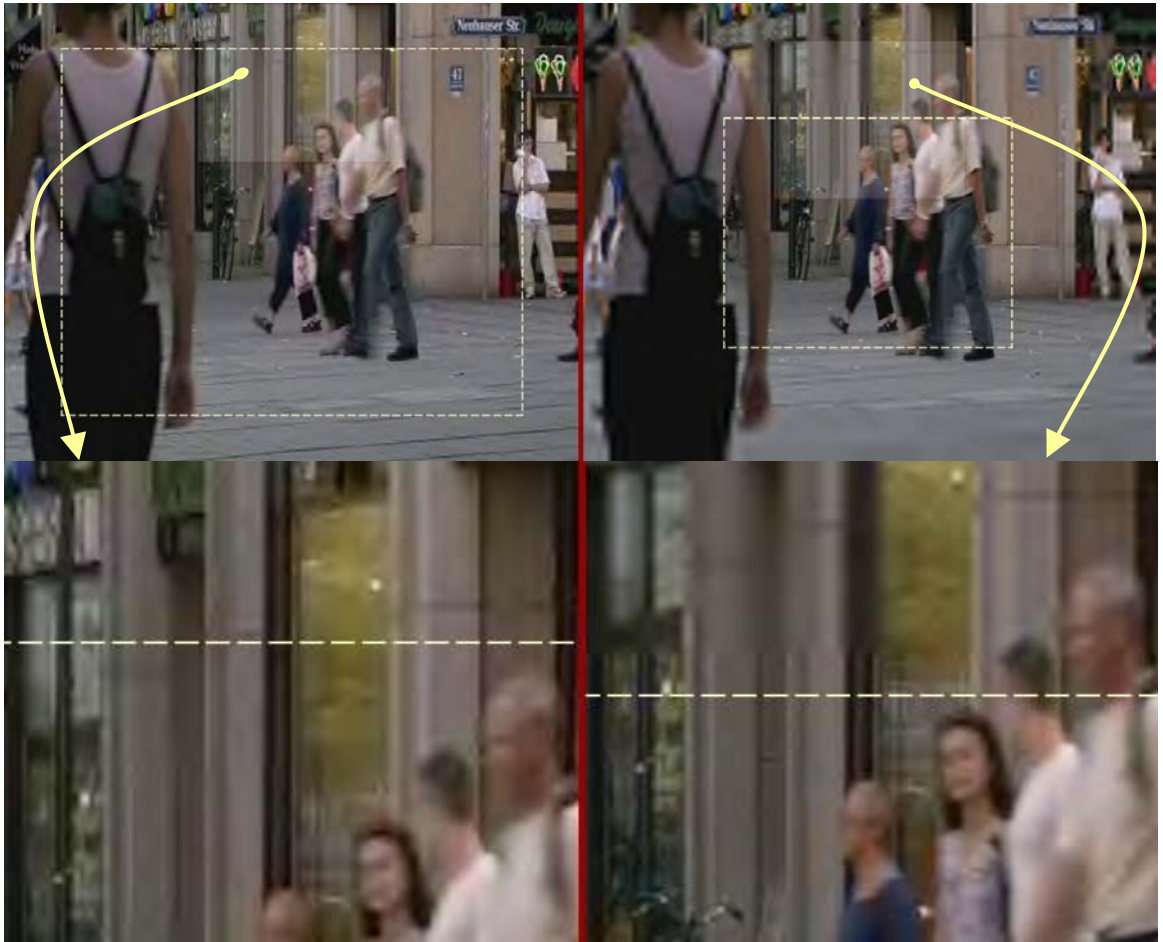
Çizelge A.3’de örnek videolar için hedef bit oranı 0,15 bit/piksel ile farklı ROI bölgesi büyüklükleri ile yapılan kodlamalar sonucu elde edilen PSNR (çerçeve ortalamaları) değerleri verilmiştir. Buna göre Şekil 4.6’de örnek “pedesterian” video’su için değişen ROI bölgesi büyüklüğünün iki farklı  $R_w$  (blok kodlama bozulma ağırlıklandırması) parametresi için PSNR farkına etkisi ve aynı testte Maxshift yöntemi ile elde edilen sonuç gösterilmiştir.



**Şekil 4.6 :** Örtülü ROI kodlama kullanarak değişen ROI büyüklüğü ile PSNR değişimi

Kullanılan  $R_w$  ağırlıklandırma miktarı Maxshift yönteminde kullanılan  $U$  parametresi ile benzer şekilde çalışmaktadır.  $R_w$  için  $U$  parametresi için öteleme miktarında olduğu gibi bir alt sınır olmadığı için istenilen ölçüde önceliklendirme yapılabilmiştir. Burada ROI bölgesi büyüdükçe önplan, arkaplan arasındaki kalite farkının azalmasının 2 temel nedeni bulunmaktadır. İlki Maxshift yöntemi içinde

geçerli olan, önplana ait katsayıların miktarının artması sonucu hedef bit oranına ulaşmak için kodlama sonrası optimizasyon için (PCRD sisteminin) daha fazla kodlanmış önplan bit akışın elemesidir. ROI bölgesi büyüdükçe arkaplan kalitesi değişmeyip önplan kalitesi hedef bit oranına ulaşmak için azaltılmakta ve sonucunda aradaki fark azalmaktadır. İkinci neden ise örtülü kodlama sisteminin bloklar için önceliklendirme yapmasıdır. Bu şekilde kod bloğu içerisinde herhangi bir ROI katsayısı bulunması durumunda blok için önceliklendirme yapılmaktadır. Dolayısıyla özellikle altbantlarda ROI eşlemesi yapılırken ROI bölgesine dahil olmayıp ROI katsayısı içeren bir blok içerisinde yer aldığından önceliklendirmeye tabi tutulan örnekler bulunmaktadır.



**Şekil 4.7 :** Örtülü ROI kodlama için önplan arkaplan geçişi. Solda %64'lük, sağda %25'lik ROI bölgesi, altta geçiş bölgesinin yakınlaştırılmış görüntüsü. ("pedesterian" video'su 55. çerçeve, 0,15 bit/piksel,  $R_w=8$ )

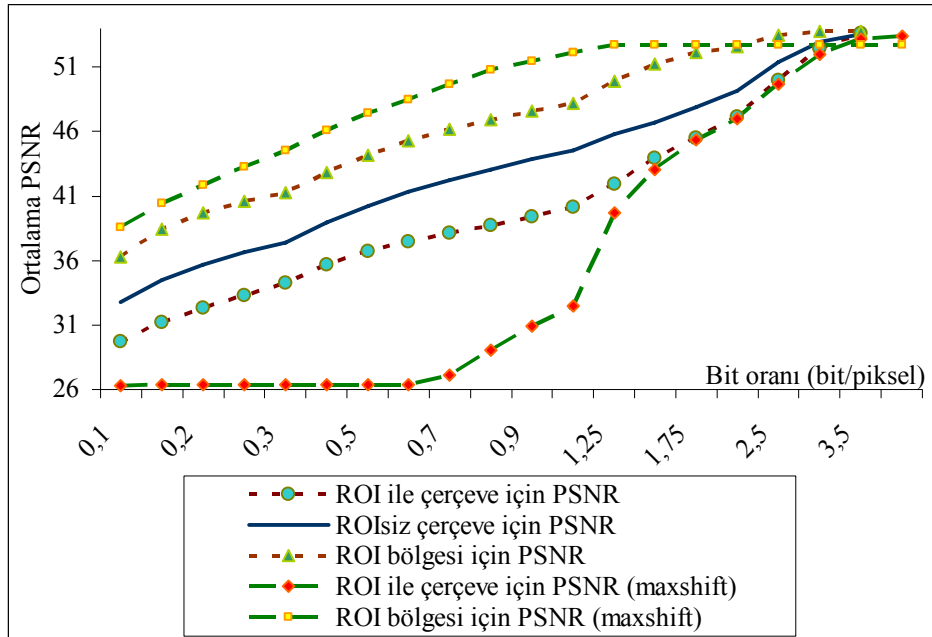
Şekil 4.7'de örtülü ROI kodlama sonrası önplan arkaplan geçiş bölgeleri gösterilmektedir. Burada örtülü kodlama yönteminde kod bloğu bazlı detaylandırma

yapılabilmesinden ötürü, Maxshift yöntemine göre daha yumuşak bir geçiş elde edilebildiği açıkça görülmektedir.

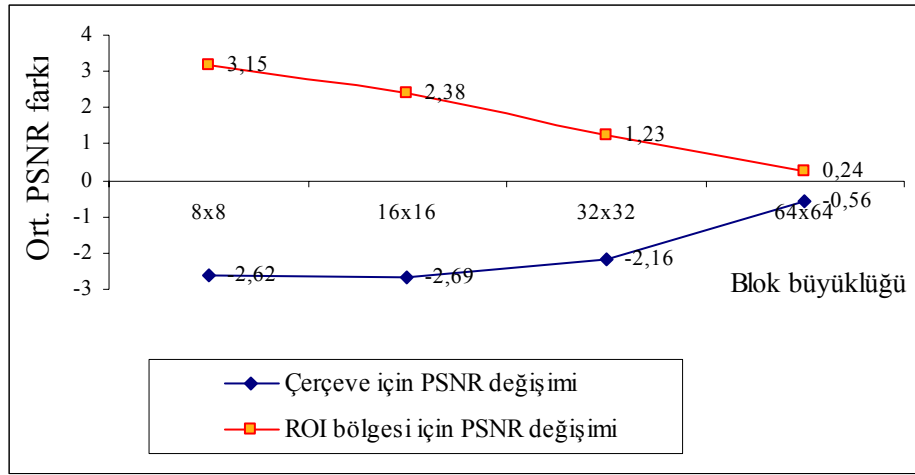
Çizelge A.4’de ve Çizelge A.5’de örnek videolar için hedef bit oranı 0,1 bit/piksel ile değişen  $R_w$  parametreleri kullanılarak yapılan kodlamalar sonucu elde edilen PSNR (çerçeve ortalamaları) değerleri verilmiştir.

Şekil 4.8’de ise “pedesterian” örnek videosu için hedef olarak seçilen bit oranının değişiminin önplan ve çerçeve ortalama PSNR değerleri üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Test sonuçları farklı videolar için Çizelge A.6’ da gösterilen kodlama işleminde ROI bölgesi olarak %25’lik alan,  $R_w$  ise 8 seçilmiştir.

Maxshift yönteminde arkaplan kalitesinin iyileştirilememesi durumu örtülü kodlama yönteminde görülmemektedir. Örtülü kodlama yönteminde arkaplan kalitesi artan bit oranı sınırı ile artmıştır. Bununla beraber önplan bölgesi Maxshift yönteminde yaklaşık 1,2 bit/örnek oranında kayıpsıza yakın kaliteye yaklaşırken, örtülü kodlama yönteminde yaklaşık 2,3 bit/örnek bit oranıyla kayıpsıza yakın kaliteye ulaşmıştır.



**Şekil 4.8 :** Örtülü ROI kodlama kullanılarak değişen bit oranı ile çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimleri.

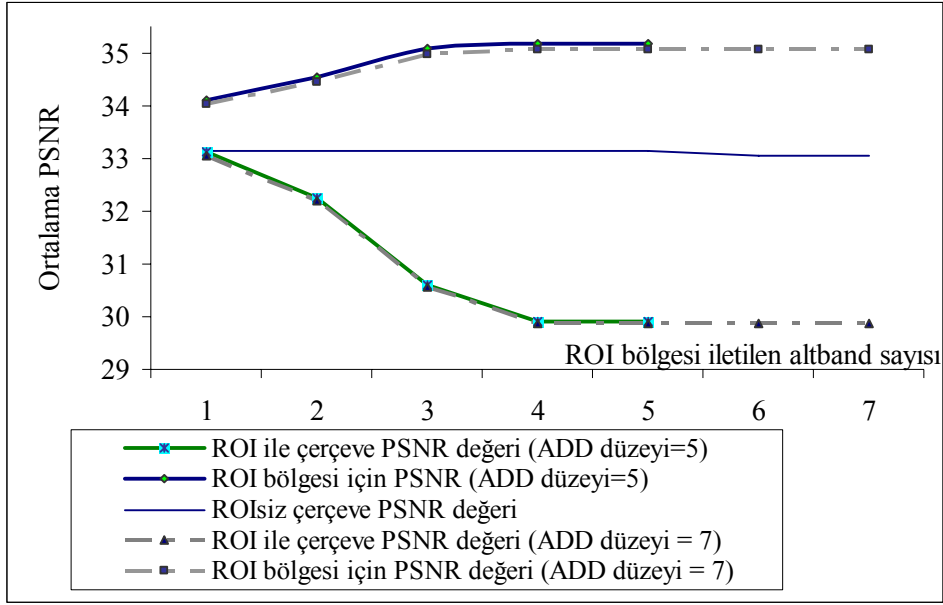


**Şekil 4.9 :**Örtülü ROI kodlama için kod bloğu büyüklüğünün PSNR değişimine etkisi.

Şekil 4.9’da ise örtülü ROI kodlama için kod bloğu büyüklüğünün PSNR değişimine etkisi gösterilmektedir. Burada ROI bölgesi olarak çerçevenin %25’i büyüklüğündeki bir alan seçilmiş olup bit oranı 0,15 bit/pikseldir. Test sonuçları Çizelge A.7’da gösterilmektedir. Burada örtülü ROI kodlamasının en büyük dezavantajı olan örnek yerine blok bazlı çalışmanın etkisi görülmektedir. Kod bloklarının büyüklüğü arttıkça ROI bölgesi tanımlı detayını kaybedip özellikle altbantlarda tanımlandığı daha büyük alan kaplayıp anlamını yitirmektedir. Sonucunda da tanımlandığı alandan daha büyük alanın önceliklendirilmesine yol açmaktadır. Blok içerisinde herhangi bir örneğin ROI bölgesine ait olması durumunda ilgili blok kodlayıcıya blok bozulma metriği  $D$ ,  $R_w$  parametresi ile ağırlıklandırılarak iletilmektedir. Blok büyüklüğü arttıkça blok içerisindeki örneklerden herhangi birinin ROI bölgesine ait olma olasılığı da artmaktadır. Neticesinde de ROI tanım bölgesinde olmayıp ROI örneği içeren kod bloğunda bulunduğu için ağırlıklandırılacak örnek miktarı artmaktadır. Artan örnek sayısı ile de önceliklendirme işlemi anlamını kaybetmektedir.

#### 4.2.3 Seçimli altbantları kullanarak önceliklendirme yöntemi

Tahoces ve diğ (2008) çalışmasında önerilen yöntemle göre önceliklendirme işlemi altband dönüşümü sonrasında oluşan çözünürlük düzeylerinin bir kısmında yapılmaktadır [31]. Buna göre yüksek frekans (detay) bileşenlerini içeren ilk ADD düzeyinde oluşan altbantlardan (HH1,LH1,HL1) başlayarak ROI bölgesinin sonraki düzeylerde oluşan altbantlara iletimi kademeli olarak yapılmaktadır.



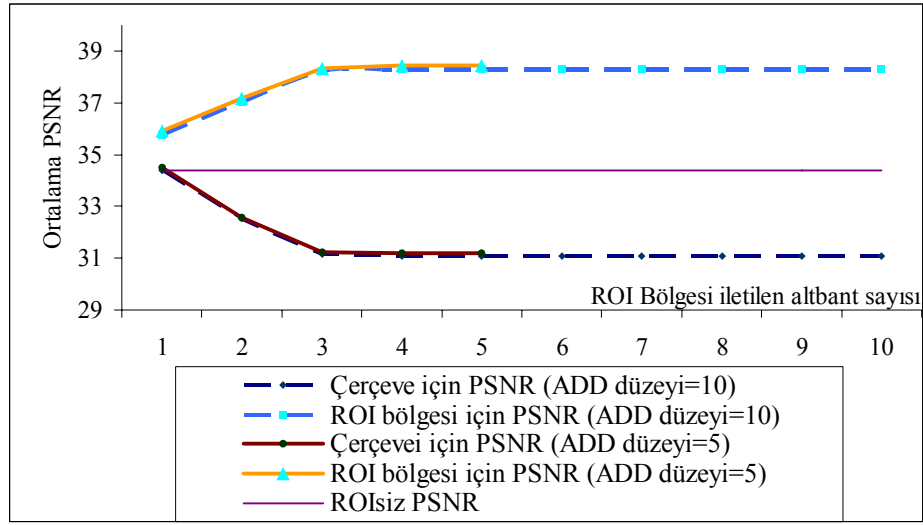
**Şekil 4.10 :** Seçimli Altbantları kullanarak Maxshift yöntemi uygulaması.

Şekil 4.10'da örnek "pedesterian" videosu için 0,1 bit/piksel bit oranı sınırlaması ve %64'lük ROI alanı kullanılarak yapılan testte elde edilen grafik gösterilmektedir. Burada yatay eksen ROI tanımının iletildiği çözünürlük sayısını, başka bir deyişle ADD düzeyini göstermektedir.

ADD düzey sayısı farklı iki test için aynı miktarda altbanda (4) ROI bölgesi ileterek önplan arkaplan arasında aynı miktarda oluşan kalite farkı görülmektedir. Buna göre artan ADD düzeyi sayısı, önplan arkaplan arasında oluşan kalite farkının ROI bölgesinin iletildiği altband miktarına göre azalma oranını değiştirmemektedir. ROI bölgesinin ilk 4 ADD düzeyine iletilmesi durumunda önplan arkaplan kalite farklı Maxshift yöntemi yakın duruma gelmektedir. Bununla beraber ADD düzey sayısı  $U$  parametresini de etkilemektedir. ADD düzey sayısı arttıkça kuantalanmış dönüşüm katsayılarını ifade etmek için kullanılacak bit miktarı artmakta, dolayısıyla seçilebilecek minimum  $U$  değeri artmaktadır. Şekil 4.10 örneğinde 5 ADD düzeyi için  $U=14$  seçilmişken, 7 ADD düzeyi için olabilecek minimum değeri olan 17 seçilmiştir.

Aynı yöntemin örtülü kodlamaya uygulanması durumunda da benzer sonuç elde edilmektedir. Şekil 4.11'de "pedesterian" videosu için 0,15 bit/piksel bit oranı sınırlaması ve %25'lik ROI alanı kullanılarak yapılan testte elde edilen grafik gösterilmektedir. Burada Maxshift yöntemine benzer şekilde ilk üç düzey dışında

ROI bölgesinin altbantlara seçimli iletiminin önceliklendirme açısından fark yaratmadığı görülmektedir.



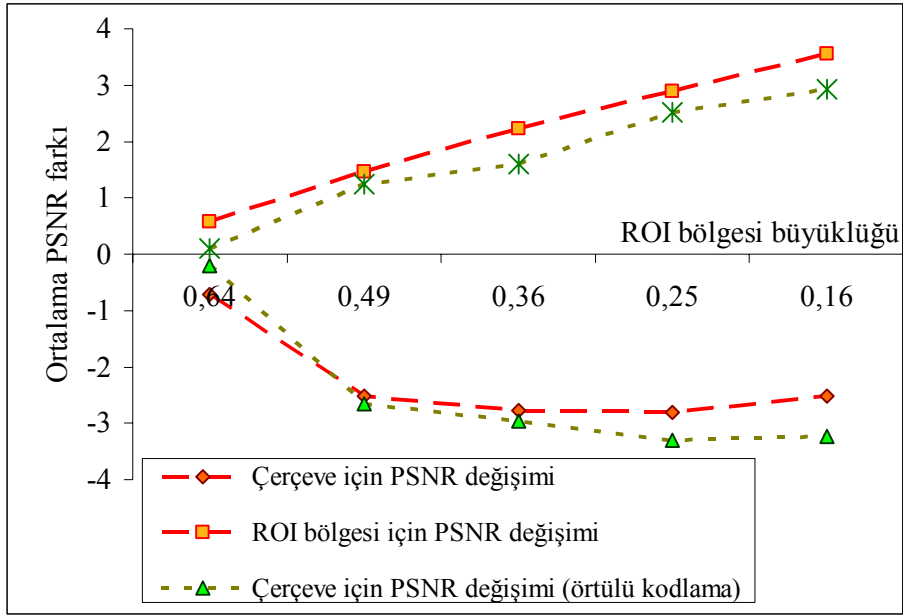
**Şekil 4.11** : Seçimli Altbantları kullanarak örtülü kodlama yöntemi uygulaması.

#### 4.2.4 Detay ağırlıklandırma ile örtülü kodlama yöntemi

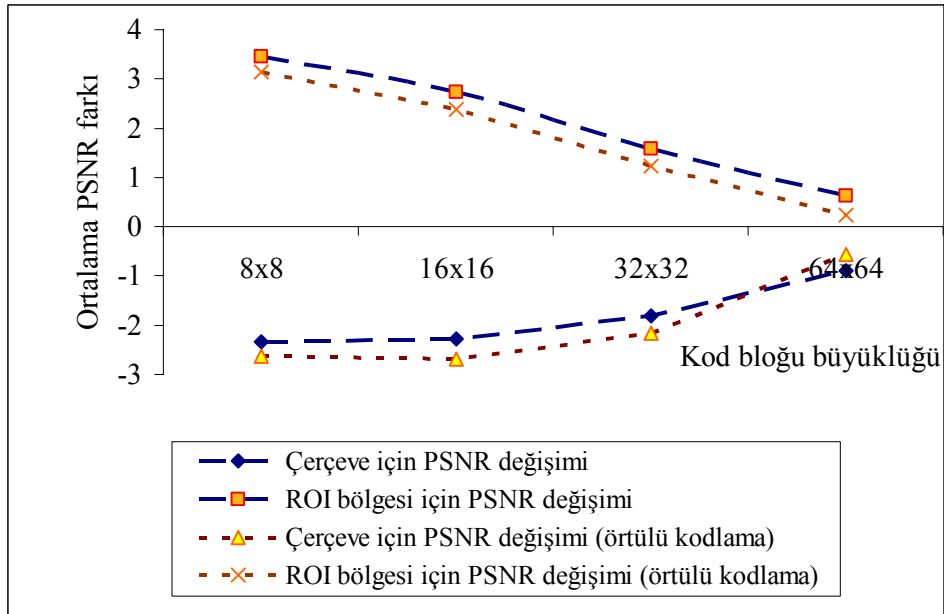
Bu bölümde daha önce 3.2.2.1 bölümünde bahsedilen ve örtülü kodlamanın blok bazlı çalışması nedeniyle oluşan dezavantajları gidermek için sunulan ağırlıklandırma ile örtülü kodlama yöntemi[26] incelenecektir. Bu yöntemle göre blokların  $D_i$  bozulma metriklerini ağırlıklandırmak için kullanılan  $R_w$  parametresi ilgili bloğun içerdiği ROI bölgesi örnek miktarına göre her blok için farklı seçilebilmektedir. Bu şekilde ROI bölgesi önceliklendirmesinin daha detaylı yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Bu yöntem ile yapılan testlerin sonuçları Çizelge A.8 - Çizelge A.12’de verilmiştir. Şekil 4.12’de “pedestrian” video’su için değişen ROI bölgesi büyüklüğünün tüm çerçeve ve önplan PSNR farkına etkisi gösterilmiştir. Burada  $R_w=5$  seçilip bit oranı 0,15 bit/piksel ile sınırlanmıştır. Kod bloğu büyüklüğü ise örtülü kodlama yöntemi ile aynı olarak 16x16 seçilmiştir. Şekil 4.13’de ise aynı test koşulları ile %25’lik ROI bölgesi için kod bloğu büyüklüğünün PSNR farkına etkisi gösterilmiştir. Buna göre ağırlıklandırma yöntemi ile çerçeve bozulma oranı örtülü kodlamaya göre daha azdır. ROI bölgesi olarak seçilen alanın bölge kenarlarında ve altbantlarda  $R_w$  ağırlıklandırılması kod bloğunun içerdiği ROI örnek sayısına göre yapılmaktadır, dolayısıyla ROI bölgesi için daha fazla bit oranı ayrılabilir. Bu

şekilde değişen ROI bölgesi ve kod bloğu büyüklüğü ile örtülü kodlamaya göre çerçeve bozulma miktarı azalırken, ROI bölgesi kalitesi artmaktadır.



**Şekil 4.12 :** Detay ağırlıklandırma ile örtülü ROI kodlama yönteminin değişen ROI büyüklüğü ile PSNR farkına etkisi.



**Şekil 4.13 :** Detay ağırlıklandırma ile örtülü ROI kodlama yönteminin değişen kod bloğu büyüklüğü ile PSNR farkına etkisi.

ROI bölgesinin kenarlarındaki kod bloklarında ve bölgenin altbantlara taşınan kod bloklarında ağırlıklandırma örnek sayısı ile orantılı olduğu için bölge kenarındaki

geçiş Şekil 4.14’de soldaki resimde görüldüğü üzere örtülü kodlamaya göre daha keskin olabilmektedir. Başka bir deyişle daha detaylı olarak önplan tanımlanabilmiştir.



**Şekil 4.14 :** Ağırlıklandırılmış örtülü kodlama için ROI bölgesi - arkaplan geçişi.  
(“pedesterian” videosu çerçeve 55. Solda ağırlıklandırılmış yöntem, sağda örtülü kodlama, ROI %25,  $R_w=8$ )



## YORUMLAR VE ÖNERİLER

İlgi bölgesi (Region Of Interest, ROI) kodlaması özelliği sıkıştırma ve kodlama işlemleri sırasında seçilen bir bölgenin resim içerisindeki diğer bölgelere oranla daha kaliteli veya daha öncelikli kodlanmasına imkan sağlamaktadır. Bu şekilde kodlayıcı taraf istenilen şekil ve büyüklükteki bir alanı daha yüksek öncelikte kodlanabilir veya iletilebilir hale getirmektedir. ROI (ilgi bölgesi) yöntemlerinin düşük bit oranı sınırlaması ile kullanılmasının amacı, sınırlı olan iletim bant genişliğini görüntü içerisinde odakta olan bölge için daha fazla kullanabilmesini sağlamaktır.

Çalışmada çerçeve içi video kodlama işlemi için MJPEG–2000 standardı kullanılarak ROI uygulamasının sabit bir bit oranı sınırlaması altında çerçevelerin ve ilgi bölgesinin kalitesine etkisi incelenmiştir. Standart kod çözücüde herhangi bir değişiklik yapılmadan önerilen farklı ROI yöntemleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu yöntemler, çerçeve genelindeki objektif kalite ölçüsü için kullanılan PSNR değerini düşürürken, çerçevelerin ortasında seçilen ve daha öncelikli olarak kodlanan ilgi bölgesi alanlarının PSNR değerini dolayısıyla hareketli akış için subjektif kaliteyi arttırmaktadır.

Bu yöntemlerden standartta ilk olarak tanımlanan ve bu çalışmada inceleneni Maxshift yöntemidir. Maxshift yöntemi ile istenilen detayda ve büyüklükte ROI tanımlaması yapılabilmesine olanak sağlanmıştır. Ancak ROI bölgesine ait katsayıları ölçeklemek için kullanılabilecek minimum değer, diğer örneklerin ifadesi için gerekli bit miktarı ile sınırlıdır. Bu sınırlama ön ve arka plan bölgeleri arasındaki kalite farkının da belli bir sınırın altına düşmemesine, neticesinde de arka plan kalitesinin fazla bozulmasına yol açmıştır. Bununla beraber önceliklendirme için ötelenen katsayılar, kodlayıcı sistemin işleyeceği bit miktarını ve dolayısıyla kod çözücü sistemin katsayıları elde etmek için işleyeceği örneklerin uzunluğunu arttırmaktadır.

İkinci olarak incelenen örtülü ROI kodlama yöntemi ilk yöntemle göre daha esnek olarak ROI bölgesinin önceliklendirilebilmesini sağlamıştır. Bu yöntem kodlayıcı ve kod çözücü sistemin işlediği katsayı değerleri üzerinde herhangi bir işlem yapılmadığı için sistem yükünü ve karmaşıklığını etkilememektedir. Maxshift yöntemine göre daha esnek olarak önplan - arkaplan kalite farkı belirlenebilmesine karşın, önceliklendirme kod bloğu büyüklükleri cinsinden yapıldığından dolayı istenilen geometride alanlar için önceliklendirme tam olarak yapılamamaktadır.

Üçüncü olarak incelenen ROI kodlama yönteminde Maxshift sonucu önplan - arkaplan arasında oluşan kalite farkının azaltılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ROI bölgesi yüksek frekans (detay) bileşenlerinin yer aldığı altbantlardan bir kısmında önceliklendirilmiştir. Bu şekilde önceliklendirilen önplan örneği sayısı azaltıldığı için arkaplan kalitesi arttırılabilmektedir. Fakat yöntem Maxshift sonucu oluşan ön-arka plan kalite farkının belli bir ölçüde yumuşatmanın ötesine gidememiştir.

Son olarak incelenen ağırlıklandırılmış örtülü ROI kodlama yöntemi ile ikinci yöntemde karşılaşılan blok bazlı önceliklendirme dezavantajı giderilmeye çalışılmıştır. Önceliklendirme için ağırlıklandırma işlemi kod bloğunun içerdiği ilgi bölgesi örneği miktarına göre yapılarak, ilgi bölgesi kalitesi örtülü kodlamaya göre arttırılmıştır. Bu yöntemde ilgi bölgesinin detaylandırılma miktarı Maxshift yöntemi kadar hassas olmamasına karşın, örtülü kodlamaya göre daha başarılıdır.

İncelenen ilgi bölgesi yöntemleri farklı uygulama gereksinimlerine göre tercih edilebilmektedir. Blok büyüklükleri ile sınırlandırılmayacak detaylı geometrilerde ve küçük, dağınık ilgi bölgesi seçimi gerektiren uygulamalarda Maxshift ve seçimli altband yöntemi daha verimli kullanılabilir. Bununla beraber arkaplan ve çerçeve genelindeki kalitenin düşmesine izin verilmeyen uygulamalarda ağırlıklandırılmış örtülü kodlama tercih edilmelidir. İncelenen tüm yöntemler aynı çerçeve üzerinde farklı örnek ve kod blokları için aynı anda uygulanabilmektedir. Dolayısıyla seçilen bölgenin ve uygulamanın gereksinimlerine göre farklı ilgi bölgelerine farklı yöntemlerle önceliklendirme uygulanabilmektedir.

Yöntemlerin beraber kullanılması ve video içerisinde ilgi bölgesinin dinamik olarak belirlenmesi çerçeve içi kodlamada sübjektif kalitenin daha da arttırılmasına yardımcı olacaktır. Yöntemler ilgili alanının şekline ve uygulama gereksinimlerine göre kullanılmalıdır. Çerçeve içerisinde önceliklendirilmek istenilen bölgenin

detaylı, dağınık ve karmaşıık geometrilerde olması durumunda Maxshift ve SCMS yöntemleri tercih edilmelidir. Detay yerine önplan kalitesi esnekliği ve arkaplan kalitesinin önemli olduğu ölceliklendirme uygulamalarında örtülü kodlama ile daha verimli sonuç alınabilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] **ISO/IEC call for contributions**, 1997: JPEG 2000, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1 N505.
- [2] **Boliek M., Gormish M., Schwartz E.L., and Keith A.F.**, 1998: Decoding compression with reversible embedded wavelets (CREW) codestreams. *Journal of Electronic Imaging*, **7**: pp. 402-409.
- [3] **Zandi A., Allen J.D., Schwartz E.L., and Boliek M.**, 1995: CREW: Compression with reversible embedded wavelets. *Proc. IEEE Data Compression Conf. (Snowbird)*, pp. 212-221.
- [4] **Witten I. H., Neal R. M., and Cleary J. G.**, 1987: Arithmetic coding for data compression, *Communications of the ACM*, Vol. **30**, No. 6, pp. 520–540.
- [5] **ISO/IEC 14492-1**, 2000: Lossy/lossless coding of bi-level images.
- [6] **Taubman D.S. and Marcellin M.W.**, 2002: JPEG2000 Image Compression Fundamentals, Standards and Practice, Kluwer Academic Publishers.
- [7] **ISO/IEC 15444-1**, 2000: Information technology -JPEG 2000 image coding system -Part 1: Core coding system.
- [8] **Antonini M., Barlaud M., Mathieu P. and Daubechies I.**, 1992: Image Coding Using the Wavelet Transform, *IEEE Trans. Image Proc.*, pp. 205-220.
- [9] **ISO/IEC 15444-2**, 2002: Information technology - JPEG 2000 image coding system -Part 2: Extensions.
- [10] **Calderbank A. R., Daubechies I., Sweldens W., and Yeo B.-L.**, 1998: Wavelet transforms that map integers to integers, *Applied and Computational Harmonic Analysis*, Vol. **5**, no. 3, pp. 332–369.
- [11] **Adams M. D. and Kossentini F.**, 2000: Reversible Integer-To-Integer Wavelet Transforms For Image Compression: Performance Evaluation And Analysis, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. **9**, No. 6, pp. 1010-1024.
- [12] **Shapiro J. M.**, 1993: Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients, *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. **41**, no. 12, pp. 3445–3462.
- [13] **Said A. and Pearlman W. A.**, 1996: A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees, *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. **6**, no. 3, pp. 243–250.
- [14] **ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 N 2414**, 2005: The JPEG-2000 Still Image Compression Standard, December.

- [15] **Calderbank A. R., Daubechies I., Sweldens W., and Yeo B.-L.,** 1998: Wavelet transforms that map integers to integers, *Applied and Computational Harmonic Analysis*, Vol. **5**, no. 3, pp. 332–369.
- [16] **Taubman D. S.,** 2000: High performance scalable image compression with EBCOT, *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. **9**, No. 7, pp. 1158–1170.
- [17] **ISO/IEC 15444-3,** 2002: Information technology - JPEG 2000 image coding system - Part 3: Motion JPEG 2000, 2002.
- [18] **ISO/IEC 15444-12,** 2003: Information technology - JPEG 2000 image coding system - Part 12: ISO base media file format.
- [19] **ISO/IEC 10918-1,** 1994: Information technology - Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines.
- [20] **Grosbois, R., Santa-Cruz, D. and Ebrahimi, T.,** 2001: New approach to JPEG 2000 compliant region of interest coding, In Proc. of the SPIE's 46th annual meeting - *Applications of Digital Image Processing XXIV*, vol. **4472**, pp. 267-275
- [21] **J. Strom and P. C. Cosman,** 1997: Medical image compression with lossless regions of interest. *Signal Processing*, **59**(2), pp.155–171.
- [22] **D. Nister and C. Christopoulos.,** 1998: Lossless region of interest with a naturally progressive still image coding algorithm. In Proc. *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol **3**, pp. 856–860.
- [23] **S. Tasdoken and A. Cuhadar.,** 2003: ROI coding with integer wavelet transforms and unbalanced spatial orientation trees. In Proc. of *IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology*, Vol **1**, pp. 841–844.
- [24] **Li-bao Z., Xian-chuan Y., and Shi-hong W.,** 2006: New region of interest image coding based on multiple bitplanes up-down shift using improved SPECK algorithm. In Proc. of *IEEE International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, Vol **3**, pp. 629–632.
- [25] **Yushin C. and Pearlman W.A.,** 2007: Hierarchical Dynamic Range Coding of Wavelet Subbands for Fast and Efficient Image Decompression. *IEEE Trans. Image Process.*, **16**(8), pp. 2005–2015.
- [26] **Bartrina-Rapesta J., Auli-Llinas F., Serra-Sagrista J. and Monteagudo-Pereira J.L.,** 2008: JPEG2000 Arbitrary ROI Coding through Rate-Distortion Optimization Techniques, *Data Compression Conference*, pp. 292 – 301
- [27] **Z. Wang and A. C. Bovik.,** 2002: Bitplane-by-bitplane shift (BbBShift) - a suggestion for JPEG2000 region of interest image coding. *IEEE Signal Process. Lett.*, **9**(5), pp. 160–162.
- [28] **L. Liu and G. Fan.,** 2003: A new JPEG2000 region-of-interest image coding method: Partial significant bitplanes shift. *IEEE Signal Process. Lett.*, **10**(2), pp. 35–38.

- [29] **Z. Li-Bao and W. Ke.**,2004: New approach for JPEG2000 region of interest image coding hybrid bitplane shift. *In Proc. of IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol **6**, pp. 3955–3960.
- [30] **L. Yan and L. Wenyao.**, 2005: A new JPEG2000 region-of-interest coding method: generalized partial bitplanes shift. *In Proc. of SPIE International Conference on Electronic Imaging and Multimedia Technology*, Vol **5637**, pp. 365–371.
- [31] **Tahoces, P. G., Varela, J. R., Lado M. J. and Souto M.**, 2008: Image compression: Maxshift ROI encoding options in JPEG2000, *Computer Vision and Image Understanding (1077-3142)*, Vol **109**,Iss.2, pp.139-145
- [32] **Kitaura Y. and Muneyasu M.**, 2006: A fine progressive image quality control method for ROI image in JPEG2000, *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications, ISPACS'06*
- [33] **Wang F.; Wei J., Zheng N., Du S., Gao B.**,2007: Automatic ROI Selection for JPEG2000 Compression of Remote Sensing Images, Semantic Computing, *ICSC 2007. International Conference*, p.615.
- [34] **Kakadu**, JPEG-2000 Standart Referans Yazılımı C++ Uygulaması Versiyon 6.11, <http://www.kakadusoftware.com/>
- [35] **Meessen J., Parisot C., Desurmont X., Delaigle J.**, 2005: Scene analysis for reducing motion JPEG 2000 video surveillance delivery bandwidth and complexity Image Processing, *ICIP 2005. IEEE International Conference*, Vol **1**, pp. I - 577-80
- [36] **Houchin J. S., and Singer D. W.**, 2002: File format technology in JPEG 2000 enables flexible use of still and motion sequences, *Signal Processing: Image Communication*, Vol. **17**, No. 1, pp. 131–144.
- [37] **ISO/IEC 15444-4**, 2004: Information technology - JPEG 2000 image coding system, Part 4: Conformance testing.
- [38] **ISO/IEC 15444-5**, 2005: Information technology - JPEG 2000 image coding system, Part 5: Reference software.
- [39] **ISO/IEC 15444-6**, 2003: Information technology - JPEG 2000 image coding system, Part 6: Compound image file format.
- [40] **ISO/IEC 15444-8**, 2007: Information technology - JPEG 2000 image coding system, Part 8:: Secure JPEG 2000.
- [41] **ISO/IEC 15444-9**, 2005: Information technology - JPEG 2000 image coding system, Part 9: Interactivity tools, APIs and protocols.
- [42] **ISO/IEC 15444-10**, 2008: Information technology - JPEG 2000 image coding system, Part 10: Extensions for three-dimensional data.
- [43] **ISO/IEC 15444-11**, 2008: Information technology - JPEG 2000 image coding system, Part 11: Wireless.

## **EKLER**

**EK A.1 : Çizelgeler**

**EK A.2 : Kakadu referans yazılımı, test videoları ve kodlanmış videolar (CD)**

**Çizelge A.1 :** Maxshift yöntemi ile değişen ROI bölgesi büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. (bit oranı 0,1 bit/piksel)

| Bölge Büyüklüğü | Kullanılan Video | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için            |            |                                  |            | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
|-----------------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------------------|------------------|
|                 |                  | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI ile ilgi bölgesinin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz ilgi bölgesin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma |                    |                  |
| 0,64            | blue_sky         | 25,54                             | 0,67       | 26,85                             | 1,14       | 27,51                              | 1,77       | 26,75                            | 1,5        | -1,31              | 0,76             |
|                 | pedesterian      | 29,9                              | 0,73       | 33,14                             | 1,02       | 35,18                              | 1,47       | 34,13                            | 1,3        | -3,24              | 1,05             |
|                 | riverbad         | 27,88                             | 0,18       | 28,71                             | 0,16       | 29,41                              | 0,19       | 28,82                            | 0,18       | -0,83              | 0,59             |
|                 | rush_hour        | 33,11                             | 0,4        | 35,63                             | 0,3        | 35,98                              | 0,3        | 35,48                            | 0,31       | -2,52              | 0,5              |
| 0,49            | blue_sky         | 24,25                             | 0,46       | 26,85                             | 1,14       | 28,4                               | 2,08       | 26,67                            | 1,62       | -2,6               | 1,73             |
|                 | pedesterian      | 28,1                              | 0,64       | 33,14                             | 1,02       | 36,56                              | 1,91       | 34,44                            | 1,52       | -5,04              | 2,12             |
|                 | riverbad         | 26,82                             | 0,23       | 28,71                             | 0,16       | 30,27                              | 0,24       | 28,84                            | 0,21       | -1,89              | 1,43             |
|                 | rush_hour        | 30,73                             | 0,45       | 35,63                             | 0,3        | 36,49                              | 0,38       | 35,19                            | 0,33       | -4,9               | 1,3              |
| 0,36            | blue_sky         | 23,28                             | 0,45       | 26,85                             | 1,14       | 29,37                              | 2,26       | 26,56                            | 1,67       | -3,57              | 2,81             |
|                 | pedesterian      | 26,84                             | 0,58       | 33,14                             | 1,02       | 37,6                               | 2,36       | 34,43                            | 1,76       | -6,3               | 3,17             |
|                 | riverbad         | 25,91                             | 0,28       | 28,71                             | 0,16       | 31,19                              | 0,3        | 28,88                            | 0,24       | -2,8               | 2,31             |
|                 | rush_hour        | 29,17                             | 0,29       | 35,63                             | 0,3        | 37,36                              | 0,25       | 34,88                            | 0,3        | -6,46              | 2,48             |
| 0,25            | blue_sky         | 22,57                             | 0,56       | 26,85                             | 1,14       | 30,66                              | 2,56       | 26,52                            | 1,84       | -4,28              | 4,14             |
|                 | pedesterian      | 26,31                             | 0,52       | 33,14                             | 1,02       | 38,6                               | 3,16       | 34,41                            | 2,13       | -6,83              | 4,19             |
|                 | riverbad         | 25,16                             | 0,29       | 28,71                             | 0,16       | 32,34                              | 0,37       | 28,95                            | 0,27       | -3,55              | 3,39             |
|                 | rush_hour        | 27,94                             | 0,46       | 35,63                             | 0,3        | 37,98                              | 0,27       | 34,54                            | 0,25       | -7,69              | 3,44             |
| 0,16            | blue_sky         | 21,98                             | 0,57       | 26,85                             | 1,14       | 32,15                              | 3,25       | 26,54                            | 2,47       | -4,87              | 5,61             |
|                 | pedesterian      | 25,97                             | 0,51       | 33,14                             | 1,02       | 40,02                              | 4,03       | 34,6                             | 2,57       | -7,17              | 5,42             |
|                 | riverbad         | 24,65                             | 0,28       | 28,71                             | 0,16       | 33,96                              | 0,37       | 29,03                            | 0,35       | -4,06              | 4,93             |
|                 | rush_hour        | 26,92                             | 0,59       | 35,63                             | 0,3        | 39,38                              | 0,21       | 34,32                            | 0,26       | -8,71              | 5,06             |

**Çizelge A.2 :** Maxshift yöntemi ile kodlama için değişen bit oranı sınırlaması ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. (ROI bölgesi resmin %64'ü olan ortalananmış dikdörtgensel alan seçilmiştir.)

| Bit Oranı | Kullanılan Video | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için            |            |                                  |            | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
|-----------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------------------|------------------|
|           |                  | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI ile ilgi bölgesinin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz ilgi bölgesin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma |                    |                  |
| 0,1       | blue_sky         | 25,54                             | 0,67       | 26,85                             | 1,14       | 27,51                              | 1,77       | 26,75                            | 1,5        | -1,31              | 0,76             |
|           | pedesterian      | 29,9                              | 0,73       | 33,14                             | 1,02       | 35,18                              | 1,47       | 34,13                            | 1,3        | -3,24              | 1,05             |
|           | riverbad         | 27,88                             | 0,18       | 28,71                             | 0,16       | 29,41                              | 0,19       | 28,82                            | 0,18       | -0,83              | 0,59             |
|           | rush_hour        | 33,11                             | 0,4        | 35,63                             | 0,3        | 35,98                              | 0,3        | 35,48                            | 0,31       | -2,52              | 0,5              |
| 0,15      | blue_sky         | 26,43                             | 0,5        | 28,77                             | 1,18       | 29,66                              | 1,88       | 28,74                            | 1,55       | -2,34              | 0,92             |
|           | pedesterian      | 30,28                             | 0,71       | 34,82                             | 1,16       | 37,15                              | 1,61       | 35,98                            | 1,53       | -4,54              | 1,17             |
|           | riverbad         | 28,78                             | 0,19       | 30,4                              | 0,12       | 31,27                              | 0,19       | 30,55                            | 0,15       | -1,62              | 0,72             |
|           | rush_hour        | 33,97                             | 0,47       | 38,08                             | 0,26       | 38,65                              | 0,32       | 38,03                            | 0,25       | -4,11              | 0,62             |
| 0,2       | blue_sky         | 26,94                             | 0,37       | 30,28                             | 1,28       | 31,24                              | 1,86       | 30,19                            | 1,62       | -3,34              | 1,05             |
|           | pedesterian      | 30,45                             | 0,71       | 35,99                             | 1,26       | 38,37                              | 1,74       | 37,26                            | 1,57       | -5,54              | 1,11             |
|           | riverbad         | 29,24                             | 0,19       | 31,58                             | 0,13       | 32,45                              | 0,2        | 31,71                            | 0,17       | -2,34              | 0,74             |
|           | rush_hour        | 34,36                             | 0,51       | 39,72                             | 0,28       | 40,51                              | 0,36       | 39,66                            | 0,28       | -5,36              | 0,85             |
| 0,25      | blue_sky         | 27,23                             | 0,3        | 31,44                             | 1,27       | 32,27                              | 1,76       | 31,32                            | 1,62       | -4,21              | 0,95             |
|           | pedesterian      | 30,55                             | 0,7        | 36,96                             | 1,3        | 39,23                              | 1,75       | 38,16                            | 1,64       | -6,41              | 1,07             |
|           | riverbad         | 29,59                             | 0,21       | 32,48                             | 0,13       | 33,52                              | 0,19       | 32,57                            | 0,17       | -2,89              | 0,95             |
|           | rush_hour        | 34,56                             | 0,53       | 41,1                              | 0,26       | 41,71                              | 0,29       | 41,06                            | 0,25       | -6,54              | 0,65             |
| 0,3       | blue_sky         | 27,38                             | 0,27       | 32,3                              | 1,22       | 32,87                              | 1,57       | 32,16                            | 1,58       | -4,92              | 0,71             |
|           | pedesterian      | 30,62                             | 0,71       | 37,74                             | 1,33       | 39,95                              | 1,9        | 38,83                            | 1,65       | -7,12              | 1,12             |
|           | riverbad         | 29,83                             | 0,22       | 33,36                             | 0,12       | 34,41                              | 0,23       | 33,43                            | 0,18       | -3,53              | 0,98             |
|           | rush_hour        | 34,68                             | 0,54       | 42                                | 0,31       | 42,66                              | 0,29       | 41,88                            | 0,3        | -7,32              | 0,78             |

**Çizelge A.3 : Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen ROI bölgesi büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. (bit oranı 0,15 bit/piksel)**

| Bölge<br>Büyüklüğü | Kullanılan<br>Video | Çerçeve için                            |               |                                         |               | Sadece ROI bölgesi için                  |               |                                        |               | Çerçeve<br>PSNR<br>farkı | Bölge<br>PSNR<br>farkı |
|--------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|---------------|------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|
|                    |                     | ROI ile tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI ile ilgi<br>bölgesinin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz ilgi<br>bölgesin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma |                          |                        |
| 0,64               | blue_sky            | 28,39                                   | 1,14          | 28,46                                   | 1,19          | 28,52                                    | 1,58          | 28,44                                  | 1,53          | -0,07                    | 0,08                   |
|                    | pedesterian         | 34,29                                   | 1,11          | 34,49                                   | 1,13          | 35,72                                    | 1,5           | 35,62                                  | 1,48          | -0,2                     | 0,1                    |
|                    | riverbad            | 30,1                                    | 0,14          | 30,12                                   | 0,14          | 30,26                                    | 0,15          | 30,23                                  | 0,16          | -0,02                    | 0,03                   |
|                    | rush_hour           | 37,55                                   | 0,29          | 37,61                                   | 0,3           | 37,55                                    | 0,31          | 37,53                                  | 0,3           | -0,06                    | 0,02                   |
| 0,49               | blue_sky            | 27,12                                   | 0,95          | 28,46                                   | 1,19          | 29,29                                    | 1,95          | 28,39                                  | 1,66          | -1,34                    | 0,9                    |
|                    | pedesterian         | 32,57                                   | 1,04          | 34,49                                   | 1,13          | 37,08                                    | 1,8           | 35,9                                   | 1,71          | -1,92                    | 1,18                   |
|                    | riverbad            | 29,17                                   | 0,14          | 30,12                                   | 0,14          | 31                                       | 0,22          | 30,26                                  | 0,19          | -0,95                    | 0,74                   |
|                    | rush_hour           | 35,68                                   | 0,31          | 37,61                                   | 0,3           | 38,16                                    | 0,29          | 37,28                                  | 0,32          | -1,93                    | 0,88                   |
| 0,36               | blue_sky            | 26,64                                   | 1,01          | 28,46                                   | 1,19          | 29,77                                    | 2,06          | 28,3                                   | 1,73          | -1,82                    | 1,47                   |
|                    | pedesterian         | 32,38                                   | 0,96          | 34,49                                   | 1,13          | 37,38                                    | 2,16          | 35,9                                   | 1,95          | -2,11                    | 1,48                   |
|                    | riverbad            | 28,66                                   | 0,17          | 30,12                                   | 0,14          | 31,46                                    | 0,25          | 30,33                                  | 0,21          | -1,46                    | 1,13                   |
|                    | rush_hour           | 35,44                                   | 0,3           | 37,61                                   | 0,3           | 38,03                                    | 0,25          | 36,98                                  | 0,27          | -2,17                    | 1,05                   |
| 0,25               | blue_sky            | 26,24                                   | 1,05          | 28,46                                   | 1,19          | 30,81                                    | 2,23          | 28,29                                  | 1,93          | -2,22                    | 2,52                   |
|                    | pedesterian         | 32,13                                   | 0,99          | 34,49                                   | 1,13          | 38,19                                    | 2,67          | 35,91                                  | 2,34          | -2,36                    | 2,28                   |
|                    | riverbad            | 28,37                                   | 0,15          | 30,12                                   | 0,14          | 32,13                                    | 0,28          | 30,43                                  | 0,23          | -1,75                    | 1,7                    |
|                    | rush_hour           | 34,98                                   | 0,36          | 37,61                                   | 0,3           | 38,37                                    | 0,22          | 36,65                                  | 0,25          | -2,63                    | 1,72                   |
| 0,16               | blue_sky            | 26,23                                   | 1,09          | 28,46                                   | 1,19          | 31,35                                    | 3             | 28,38                                  | 2,64          | -2,23                    | 2,97                   |
|                    | pedesterian         | 32,17                                   | 1,06          | 34,49                                   | 1,13          | 38,77                                    | 3,28          | 36,13                                  | 2,81          | -2,32                    | 2,64                   |
|                    | riverbad            | 28,09                                   | 0,15          | 30,12                                   | 0,14          | 32,92                                    | 0,38          | 30,51                                  | 0,27          | -2,03                    | 2,41                   |
|                    | rush_hour           | 35                                      | 0,34          | 37,61                                   | 0,3           | 38,47                                    | 0,2           | 36,46                                  | 0,23          | -2,61                    | 2,01                   |

**Çizelge A.4 :** Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi. (Bit oranı 0.15 bit/piksel olup ROI bölgesi resmin %25'i olan ortalanmış dikdörtgensel alan seçilmiştir.)

| $R_w$ | Kullanılan Video | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için              |            |                                    |            | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
|-------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|------------------------------------|------------|--------------------|------------------|
|       |                  | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI ile ilgili bölgesinin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz ilgili bölgesin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma |                    |                  |
| 5     | blue_sky         | 24,84                             | 0,93       | 26,57                             | 1,14       | 28,59                                | 2,24       | 26,28                              | 1,94       | -1,73              | 2,31             |
|       | pedesterian      | 30,63                             | 0,96       | 32,8                              | 1,01       | 36,11                                | 2,5        | 33,92                              | 2,09       | -2,17              | 2,19             |
|       | riverbad         | 27,54                             | 0,16       | 28,59                             | 0,14       | 30,1                                 | 0,27       | 28,81                              | 0,24       | -1,05              | 1,29             |
|       | rush_hour        | 33,06                             | 0,31       | 35,2                              | 0,3        | 35,44                                | 0,23       | 34,04                              | 0,25       | -2,14              | 1,4              |
| 6     | blue_sky         | 24,57                             | 0,82       | 26,57                             | 1,14       | 28,67                                | 2,27       | 26,28                              | 1,94       | -2                 | 2,39             |
|       | pedesterian      | 30,3                              | 0,9        | 32,8                              | 1,01       | 36,19                                | 2,53       | 33,92                              | 2,09       | -2,5               | 2,27             |
|       | riverbad         | 27,5                              | 0,17       | 28,59                             | 0,14       | 30,11                                | 0,27       | 28,81                              | 0,24       | -1,09              | 1,3              |
|       | rush_hour        | 32,74                             | 0,29       | 35,2                              | 0,3        | 35,48                                | 0,23       | 34,04                              | 0,25       | -2,46              | 1,44             |
| 7     | blue_sky         | 24,42                             | 0,76       | 26,57                             | 1,14       | 28,7                                 | 2,3        | 26,28                              | 1,94       | -2,15              | 2,42             |
|       | pedesterian      | 29,99                             | 0,84       | 32,8                              | 1,01       | 36,26                                | 2,55       | 33,92                              | 2,09       | -2,81              | 2,34             |
|       | riverbad         | 27,46                             | 0,16       | 28,59                             | 0,14       | 30,11                                | 0,28       | 28,81                              | 0,24       | -1,13              | 1,3              |
|       | rush_hour        | 32,43                             | 0,31       | 35,2                              | 0,3        | 35,52                                | 0,23       | 34,04                              | 0,25       | -2,77              | 1,48             |
| 8     | blue_sky         | 24,32                             | 0,72       | 26,57                             | 1,14       | 28,72                                | 2,31       | 26,28                              | 1,94       | -2,25              | 2,44             |
|       | pedesterian      | 29,76                             | 0,82       | 32,8                              | 1,01       | 36,3                                 | 2,56       | 33,92                              | 2,09       | -3,04              | 2,38             |
|       | riverbad         | 27,44                             | 0,17       | 28,59                             | 0,14       | 30,11                                | 0,27       | 28,81                              | 0,24       | -1,15              | 1,3              |
|       | rush_hour        | 32,15                             | 0,33       | 35,2                              | 0,3        | 35,55                                | 0,23       | 34,04                              | 0,25       | -3,05              | 1,51             |

**Çizelge A.5 :** Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi. (Bit oranı 0.15 bit/piksel olup ROI bölgesi resmin %64’i olan ortalanmış dikdörtgensel alan seçilmiştir.)

| $R_w$ | Kullanılan Video | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için            |            |                                  |            | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
|-------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------------------|------------------|
|       |                  | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma | ROI’siz tüm çerçevenin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma | ROI ile ilgi bölgesinin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma | ROI’siz ilgi bölgesin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma |                    |                  |
| 5     | blue_sky         | 26,56                             | 1,14       | 26,57                             | 1,14       | 26,49                              | 1,55       | 26,46                            | 1,52       | -0,01              | 0,03             |
|       | pedesterian      | 32,72                             | 1,01       | 32,8                              | 1,01       | 33,8                               | 1,27       | 33,75                            | 1,27       | -0,08              | 0,05             |
|       | riverbad         | 28,58                             | 0,14       | 28,59                             | 0,14       | 28,66                              | 0,16       | 28,66                            | 0,16       | -0,01              | 0                |
|       | rush_hour        | 35,19                             | 0,3        | 35,2                              | 0,3        | 35,02                              | 0,32       | 35,01                            | 0,32       | -0,01              | 0,01             |
| 6     | blue_sky         | 26,56                             | 1,14       | 26,57                             | 1,14       | 26,49                              | 1,55       | 26,46                            | 1,52       | -0,01              | 0,03             |
|       | pedesterian      | 32,72                             | 1,01       | 32,8                              | 1,01       | 33,8                               | 1,27       | 33,75                            | 1,27       | -0,08              | 0,05             |
|       | riverbad         | 28,58                             | 0,14       | 28,59                             | 0,14       | 28,66                              | 0,16       | 28,66                            | 0,16       | -0,01              | 0                |
|       | rush_hour        | 35,19                             | 0,3        | 35,2                              | 0,3        | 35,02                              | 0,32       | 35,01                            | 0,32       | -0,01              | 0,01             |
| 7     | blue_sky         | 26,56                             | 1,13       | 26,57                             | 1,14       | 26,49                              | 1,55       | 26,46                            | 1,52       | -0,01              | 0,03             |
|       | pedesterian      | 32,72                             | 1,01       | 32,8                              | 1,01       | 33,8                               | 1,27       | 33,75                            | 1,27       | -0,08              | 0,05             |
|       | riverbad         | 28,58                             | 0,14       | 28,59                             | 0,14       | 28,66                              | 0,16       | 28,66                            | 0,16       | -0,01              | 0                |
|       | rush_hour        | 35,19                             | 0,3        | 35,2                              | 0,3        | 35,02                              | 0,32       | 35,01                            | 0,32       | -0,01              | 0,01             |
| 8     | blue_sky         | 26,56                             | 1,14       | 26,57                             | 1,14       | 26,49                              | 1,55       | 26,46                            | 1,52       | -0,01              | 0,03             |
|       | pedesterian      | 32,72                             | 1,01       | 32,8                              | 1,01       | 33,8                               | 1,27       | 33,75                            | 1,27       | -0,08              | 0,05             |
|       | riverbad         | 28,58                             | 0,14       | 28,59                             | 0,14       | 28,66                              | 0,16       | 28,66                            | 0,16       | -0,01              | 0                |
|       | rush_hour        | 35,19                             | 0,3        | 35,2                              | 0,3        | 35,02                              | 0,32       | 35,01                            | 0,32       | -0,01              | 0,01             |

**Çizelge A.6 :** Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen bit oranı sınırlaması ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. ( $R_w=5$ , ROI bölgesi resmin %25’ü olan ortalanmış dikdörtgensel alan seçilmiştir.)

| Bit Oranı | Kullanılan Video | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için            |            |                                  |            | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
|-----------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------------------|------------------|
|           |                  | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma | ROI’siz tüm çerçevenin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma | ROI ile ilgi bölgesinin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma | ROI’siz ilgi bölgesin Ort.PSNR’ı | Std. Sapma |                    |                  |
| 0,1       | blue_sky         | 24,84                             | 0,93       | 26,57                             | 1,14       | 28,59                              | 2,24       | 26,28                            | 1,94       | -1,73              | 2,31             |
|           | pedesterian      | 30,63                             | 0,96       | 32,8                              | 1,01       | 36,11                              | 2,5        | 33,92                            | 2,09       | -2,17              | 2,19             |
|           | riverbad         | 27,54                             | 0,16       | 28,59                             | 0,14       | 30,1                               | 0,27       | 28,81                            | 0,24       | -1,05              | 1,29             |
|           | rush_hour        | 33,06                             | 0,31       | 35,2                              | 0,3        | 35,44                              | 0,23       | 34,04                            | 0,25       | -2,14              | 1,4              |
| 0,15      | blue_sky         | 26,24                             | 1,05       | 28,46                             | 1,19       | 30,81                              | 2,23       | 28,29                            | 1,93       | -2,22              | 2,52             |
|           | pedesterian      | 32,13                             | 0,99       | 34,49                             | 1,13       | 38,19                              | 2,67       | 35,91                            | 2,34       | -2,36              | 2,28             |
|           | riverbad         | 28,37                             | 0,15       | 30,12                             | 0,14       | 32,13                              | 0,28       | 30,43                            | 0,23       | -1,75              | 1,7              |
|           | rush_hour        | 34,98                             | 0,36       | 37,61                             | 0,3        | 38,37                              | 0,22       | 36,65                            | 0,25       | -2,63              | 1,72             |
| 0,2       | blue_sky         | 27,39                             | 1,16       | 29,9                              | 1,28       | 32,09                              | 2,01       | 29,72                            | 2,01       | -2,51              | 2,37             |
|           | pedesterian      | 33,42                             | 1,19       | 35,69                             | 1,21       | 39,43                              | 2,75       | 37,34                            | 2,44       | -2,27              | 2,09             |
|           | riverbad         | 29,23                             | 0,14       | 31,32                             | 0,12       | 33,76                              | 0,33       | 31,63                            | 0,23       | -2,09              | 2,13             |
|           | rush_hour        | 36,51                             | 0,33       | 39,29                             | 0,29       | 40,39                              | 0,21       | 38,42                            | 0,22       | -2,78              | 1,97             |
| 0,25      | blue_sky         | 28,56                             | 1,42       | 31,05                             | 1,3        | 32,68                              | 1,78       | 30,85                            | 2,03       | -2,49              | 1,83             |
|           | pedesterian      | 34,48                             | 1,22       | 36,65                             | 1,3        | 40,27                              | 2,85       | 38,37                            | 2,57       | -2,17              | 1,9              |
|           | riverbad         | 29,95                             | 0,15       | 32,21                             | 0,13       | 34,76                              | 0,36       | 32,55                            | 0,27       | -2,26              | 2,21             |
|           | rush_hour        | 37,73                             | 0,27       | 40,65                             | 0,31       | 41,5                               | 0,22       | 39,9                             | 0,25       | -2,92              | 1,6              |
| 0,3       | blue_sky         | 29,58                             | 1,41       | 32,02                             | 1,27       | 33,06                              | 1,73       | 31,69                            | 1,94       | -2,44              | 1,37             |
|           | pedesterian      | 35,36                             | 1,26       | 37,43                             | 1,34       | 40,96                              | 2,88       | 39,13                            | 2,64       | -2,07              | 1,83             |
|           | riverbad         | 30,79                             | 0,15       | 33,07                             | 0,13       | 35,71                              | 0,4        | 33,39                            | 0,28       | -2,28              | 2,32             |
|           | rush_hour        | 38,94                             | 0,36       | 41,62                             | 0,29       | 42,56                              | 0,24       | 40,86                            | 0,25       | -2,68              | 1,7              |

**Çizelge A.7 : Örtülü ROI kodlama ile değişen kod bloğu büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi (Rw=6, Bit oranı 0,15 bit/piksel)**

| Kod Bloğu<br>Büyüklüğü | Kullanılan<br>Video | Çerçeve için                            |               |                                         |               | Sadece ROI bölgesi için                  |               |                                        |               | Çerçeve<br>PSNR<br>farkı | Bölge<br>PSNR<br>farkı |
|------------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|---------------|------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|
|                        |                     | ROI ile tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI ile ilgi<br>bölgesinin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz ilgi<br>bölgesin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma |                          |                        |
| 8x8                    | blue_sky            | 25,45                                   | 1,15          | 27,88                                   | 1,2           | 30,86                                    | 2,36          | 27,71                                  | 1,91          | -2,43                    | 3,15                   |
|                        | pedesterian         | 31,31                                   | 1,03          | 33,93                                   | 1,1           | 38,4                                     | 2,81          | 35,25                                  | 2,27          | -2,62                    | 3,15                   |
|                        | riverbad            | 27,4                                    | 0,15          | 29,65                                   | 0,14          | 32,57                                    | 0,33          | 29,9                                   | 0,24          | -2,25                    | 2,67                   |
|                        | rush_hour           | 33,71                                   | 0,37          | 36,83                                   | 0,29          | 38,29                                    | 0,2           | 35,77                                  | 0,23          | -3,12                    | 2,52                   |
| 16x16                  | blue_sky            | 25,94                                   | 1,09          | 28,46                                   | 1,19          | 30,91                                    | 2,23          | 28,29                                  | 1,93          | -2,52                    | 2,62                   |
|                        | pedesterian         | 31,8                                    | 0,98          | 34,49                                   | 1,13          | 38,29                                    | 2,7           | 35,91                                  | 2,34          | -2,69                    | 2,38                   |
|                        | riverbad            | 28,19                                   | 0,15          | 30,12                                   | 0,14          | 32,16                                    | 0,29          | 30,43                                  | 0,23          | -1,93                    | 1,73                   |
|                        | rush_hour           | 34,6                                    | 0,38          | 37,61                                   | 0,3           | 38,44                                    | 0,21          | 36,65                                  | 0,25          | -3,01                    | 1,79                   |
| 32x32                  | blue_sky            | 26,71                                   | 1,03          | 28,71                                   | 1,19          | 29,96                                    | 2,18          | 28,58                                  | 1,98          | -2                       | 1,38                   |
|                        | pedesterian         | 32,58                                   | 0,92          | 34,74                                   | 1,15          | 37,5                                     | 2,5           | 36,27                                  | 2,36          | -2,16                    | 1,23                   |
|                        | riverbad            | 29,13                                   | 0,15          | 30,34                                   | 0,13          | 31,55                                    | 0,25          | 30,68                                  | 0,24          | -1,21                    | 0,87                   |
|                        | rush_hour           | 35,69                                   | 0,38          | 37,97                                   | 0,28          | 37,69                                    | 0,23          | 37,05                                  | 0,22          | -2,28                    | 0,64                   |
| 64x64                  | blue_sky            | 27,51                                   | 1,08          | 28,77                                   | 1,18          | 29,08                                    | 2,03          | 28,62                                  | 1,98          | -1,26                    | 0,46                   |
|                        | pedesterian         | 34,26                                   | 1,04          | 34,82                                   | 1,16          | 36,61                                    | 2,34          | 36,37                                  | 2,36          | -0,56                    | 0,24                   |
|                        | riverbad            | 30                                      | 0,14          | 30,4                                    | 0,12          | 31                                       | 0,24          | 30,76                                  | 0,22          | -0,4                     | 0,24                   |
|                        | rush_hour           | 36,38                                   | 0,4           | 38,08                                   | 0,26          | 37,5                                     | 0,21          | 37,16                                  | 0,19          | -1,7                     | 0,34                   |

**Çizelge A.8 :** Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen ROI bölgesi büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. ( $R_w=5$ , bit oranı 0,15 bit/piksel)

| Bölge<br>Büyüküğü | Kullanılan<br>Video | Çerçeve için                            |               |                                         |               | Sadece ROI bölgesi için                  |               |                                        |               | Çerçeve<br>PSNR<br>farkı | Bölge<br>PSNR<br>farkı |
|-------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|---------------|------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|
|                   |                     | ROI ile tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI ile ilgi<br>bölgesinin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz ilgi<br>bölgesin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma |                          |                        |
| 0,64              | blue_sky            | 27,96                                   | 1,07          | 28,46                                   | 1,19          | 29                                       | 1,72          | 28,44                                  | 1,53          | -0,5                     | 0,56                   |
|                   | pedesterian         | 33,78                                   | 1,06          | 34,49                                   | 1,13          | 36,2                                     | 1,52          | 35,62                                  | 1,48          | -0,71                    | 0,58                   |
|                   | riverbad            | 29,86                                   | 0,14          | 30,12                                   | 0,14          | 30,64                                    | 0,16          | 30,23                                  | 0,16          | -0,26                    | 0,41                   |
|                   | rush_hour           | 37,12                                   | 0,31          | 37,61                                   | 0,3           | 37,92                                    | 0,28          | 37,53                                  | 0,3           | -0,49                    | 0,39                   |
| 0,49              | blue_sky            | 27,16                                   | 0,97          | 28,46                                   | 1,19          | 29,59                                    | 1,96          | 28,39                                  | 1,66          | -1,3                     | 1,2                    |
|                   | pedesterian         | 32,69                                   | 1,05          | 34,49                                   | 1,13          | 37,27                                    | 1,83          | 35,9                                   | 1,71          | -1,8                     | 1,37                   |
|                   | riverbad            | 29,14                                   | 0,15          | 30,12                                   | 0,14          | 31,23                                    | 0,22          | 30,26                                  | 0,19          | -0,98                    | 0,97                   |
|                   | rush_hour           | 35,78                                   | 0,31          | 37,61                                   | 0,3           | 38,34                                    | 0,3           | 37,28                                  | 0,32          | -1,83                    | 1,06                   |
| 0,36              | blue_sky            | 26,59                                   | 1,01          | 28,46                                   | 1,19          | 30,41                                    | 2,11          | 28,3                                   | 1,73          | -1,87                    | 2,11                   |
|                   | pedesterian         | 32,5                                    | 1,01          | 34,49                                   | 1,13          | 37,96                                    | 2,25          | 35,9                                   | 1,95          | -1,99                    | 2,06                   |
|                   | riverbad            | 28,67                                   | 0,14          | 30,12                                   | 0,14          | 32,03                                    | 0,27          | 30,33                                  | 0,21          | -1,45                    | 1,7                    |
|                   | rush_hour           | 35,49                                   | 0,3           | 37,61                                   | 0,3           | 38,58                                    | 0,27          | 36,98                                  | 0,27          | -2,12                    | 1,6                    |
| 0,25              | blue_sky            | 26,5                                    | 1,12          | 28,46                                   | 1,19          | 31,15                                    | 2,18          | 28,29                                  | 1,93          | -1,96                    | 2,86                   |
|                   | pedesterian         | 32,57                                   | 1,14          | 34,49                                   | 1,13          | 38,51                                    | 2,64          | 35,91                                  | 2,34          | -1,92                    | 2,6                    |
|                   | riverbad            | 28,47                                   | 0,16          | 30,12                                   | 0,14          | 33,01                                    | 0,31          | 30,43                                  | 0,23          | -1,65                    | 2,58                   |
|                   | rush_hour           | 35,3                                    | 0,34          | 37,61                                   | 0,3           | 38,87                                    | 0,23          | 36,65                                  | 0,25          | -2,31                    | 2,22                   |
| 0,16              | blue_sky            | 26,71                                   | 1,24          | 28,46                                   | 1,19          | 31,63                                    | 2,78          | 28,38                                  | 2,64          | -1,75                    | 3,25                   |
|                   | pedesterian         | 32,87                                   | 1,18          | 34,49                                   | 1,13          | 39,23                                    | 3,21          | 36,13                                  | 2,81          | -1,62                    | 3,1                    |
|                   | riverbad            | 28,6                                    | 0,15          | 30,12                                   | 0,14          | 33,77                                    | 0,35          | 30,51                                  | 0,27          | -1,52                    | 3,26                   |
|                   | rush_hour           | 35,47                                   | 0,34          | 37,61                                   | 0,3           | 39,62                                    | 0,19          | 36,46                                  | 0,23          | -2,14                    | 3,16                   |

**Çizelge A.9 :** Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi. (Bit oranı 0.15 bit/piksel olup ROI bölgesi resmin %25'i olan ortalanmış dikdörtgensel alan seçilmiştir.)

| $R_w$ | Kullanılan Video | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için            |            |                                  |            | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
|-------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------------------|------------------|
|       |                  | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI ile ilgi bölgesinin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz ilgi bölgesin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma |                    |                  |
| 5     | blue_sky         | 26,5                              | 1,12       | 28,46                             | 1,19       | 31,15                              | 2,18       | 28,29                            | 1,93       | -1,96              | 2,86             |
|       | pedesterian      | 32,57                             | 1,14       | 34,49                             | 1,13       | 38,51                              | 2,64       | 35,91                            | 2,34       | -1,92              | 2,6              |
|       | riverbad         | 28,47                             | 0,16       | 30,12                             | 0,14       | 33,01                              | 0,31       | 30,43                            | 0,23       | -1,65              | 2,58             |
|       | rush_hour        | 35,3                              | 0,34       | 37,61                             | 0,3        | 38,87                              | 0,23       | 36,65                            | 0,25       | -2,31              | 2,22             |
| 6     | blue_sky         | 26,21                             | 1,11       | 28,46                             | 1,19       | 31,27                              | 2,2        | 28,29                            | 1,93       | -2,25              | 2,98             |
|       | pedesterian      | 32,22                             | 1,07       | 34,49                             | 1,13       | 38,65                              | 2,68       | 35,91                            | 2,34       | -2,27              | 2,74             |
|       | riverbad         | 28,27                             | 0,14       | 30,12                             | 0,14       | 33,08                              | 0,31       | 30,43                            | 0,23       | -1,85              | 2,65             |
|       | rush_hour        | 34,93                             | 0,34       | 37,61                             | 0,3        | 38,96                              | 0,24       | 36,65                            | 0,25       | -2,68              | 2,31             |
| 7     | blue_sky         | 25,96                             | 1,13       | 28,46                             | 1,19       | 31,35                              | 2,2        | 28,29                            | 1,93       | -2,5               | 3,06             |
|       | pedesterian      | 31,93                             | 1,04       | 34,49                             | 1,13       | 38,74                              | 2,72       | 35,91                            | 2,34       | -2,56              | 2,83             |
|       | riverbad         | 28,13                             | 0,16       | 30,12                             | 0,14       | 33,11                              | 0,31       | 30,43                            | 0,23       | -1,99              | 2,68             |
|       | rush_hour        | 34,61                             | 0,37       | 37,61                             | 0,3        | 39,02                              | 0,23       | 36,65                            | 0,25       | -3                 | 2,37             |
| 8     | blue_sky         | 25,75                             | 1,13       | 28,46                             | 1,19       | 31,4                               | 2,21       | 28,29                            | 1,93       | -2,71              | 3,11             |
|       | pedesterian      | 31,68                             | 1,03       | 34,49                             | 1,13       | 38,81                              | 2,73       | 35,91                            | 2,34       | -2,81              | 2,9              |
|       | riverbad         | 28                                | 0,16       | 30,12                             | 0,14       | 33,13                              | 0,32       | 30,43                            | 0,23       | -2,12              | 2,7              |
|       | rush_hour        | 34,33                             | 0,38       | 37,61                             | 0,3        | 39,07                              | 0,23       | 36,65                            | 0,25       | -3,28              | 2,42             |
| 9     | blue_sky         | 25,54                             | 1,12       | 28,46                             | 1,19       | 31,44                              | 2,21       | 28,29                            | 1,93       | -2,92              | 3,15             |
|       | pedesterian      | 31,46                             | 1,03       | 34,49                             | 1,13       | 38,87                              | 2,75       | 35,91                            | 2,34       | -3,03              | 2,96             |
|       | riverbad         | 27,92                             | 0,16       | 30,12                             | 0,14       | 33,15                              | 0,32       | 30,43                            | 0,23       | -2,2               | 2,72             |
|       | rush_hour        | 34,07                             | 0,38       | 37,61                             | 0,3        | 39,11                              | 0,23       | 36,65                            | 0,25       | -3,54              | 2,46             |

**Çizelge A.10 :** Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi kullanılarak değişen blok bozulma ağırlıklandırma katsayısı ( $R_w$ ) için tüm çerçeve ve ROI bölgesi PSNR değişimi. (Bit oranı 0.15 bit/piksel olup ROI bölgesi resmin %64'i olan ortalananmış dikdörtgensel alan seçilmiştir.)

| $R_w$ | Kullanılan Video | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için            |            |                                  |            | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
|-------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------------------|------------------|
|       |                  | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI ile ilgi bölgesinin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz ilgi bölgesin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma |                    |                  |
| 5     | blue_sky         | 27,96                             | 1,07       | 28,46                             | 1,19       | 29                                 | 1,72       | 28,44                            | 1,53       | -0,5               | 0,56             |
|       | pedesterian      | 33,78                             | 1,06       | 34,49                             | 1,13       | 36,2                               | 1,52       | 35,62                            | 1,48       | -0,71              | 0,58             |
|       | riverbad         | 29,86                             | 0,14       | 30,12                             | 0,14       | 30,64                              | 0,16       | 30,23                            | 0,16       | -0,26              | 0,41             |
|       | rush_hour        | 37,12                             | 0,31       | 37,61                             | 0,3        | 37,92                              | 0,28       | 37,53                            | 0,3        | -0,49              | 0,39             |
| 6     | blue_sky         | 27,96                             | 1,07       | 28,46                             | 1,19       | 29                                 | 1,72       | 28,44                            | 1,53       | -0,5               | 0,56             |
|       | pedesterian      | 33,78                             | 1,06       | 34,49                             | 1,13       | 36,2                               | 1,52       | 35,62                            | 1,48       | -0,71              | 0,58             |
|       | riverbad         | 29,86                             | 0,14       | 30,12                             | 0,14       | 30,64                              | 0,15       | 30,23                            | 0,16       | -0,26              | 0,41             |
|       | rush_hour        | 37,12                             | 0,31       | 37,61                             | 0,3        | 37,92                              | 0,28       | 37,53                            | 0,3        | -0,49              | 0,39             |
| 7     | blue_sky         | 27,96                             | 1,07       | 28,46                             | 1,19       | 29                                 | 1,72       | 28,44                            | 1,53       | -0,5               | 0,56             |
|       | pedesterian      | 33,78                             | 1,06       | 34,49                             | 1,13       | 36,2                               | 1,52       | 35,62                            | 1,48       | -0,71              | 0,58             |
|       | riverbad         | 29,86                             | 0,14       | 30,12                             | 0,14       | 30,64                              | 0,16       | 30,23                            | 0,16       | -0,26              | 0,41             |
|       | rush_hour        | 37,12                             | 0,31       | 37,61                             | 0,3        | 37,92                              | 0,28       | 37,53                            | 0,3        | -0,49              | 0,39             |
| 8     | blue_sky         | 27,96                             | 1,07       | 28,46                             | 1,19       | 29                                 | 1,72       | 28,44                            | 1,53       | -0,5               | 0,56             |
|       | pedesterian      | 33,78                             | 1,06       | 34,49                             | 1,13       | 36,2                               | 1,52       | 35,62                            | 1,48       | -0,71              | 0,58             |
|       | riverbad         | 29,86                             | 0,14       | 30,12                             | 0,14       | 30,64                              | 0,16       | 30,23                            | 0,16       | -0,26              | 0,41             |
|       | rush_hour        | 37,12                             | 0,31       | 37,61                             | 0,3        | 37,92                              | 0,28       | 37,53                            | 0,3        | -0,49              | 0,39             |
| 9     | blue_sky         | 27,96                             | 1,07       | 28,46                             | 1,19       | 29                                 | 1,72       | 28,44                            | 1,53       | -0,5               | 0,56             |
|       | pedesterian      | 33,78                             | 1,06       | 34,49                             | 1,13       | 36,2                               | 1,52       | 35,62                            | 1,48       | -0,71              | 0,58             |
|       | riverbad         | 29,86                             | 0,14       | 30,12                             | 0,14       | 30,64                              | 0,16       | 30,23                            | 0,16       | -0,26              | 0,41             |
|       | rush_hour        | 37,12                             | 0,31       | 37,61                             | 0,3        | 37,92                              | 0,28       | 37,53                            | 0,3        | -0,49              | 0,39             |

**Çizelge A.11** : Ağırlıklandırılmış Örtülü ROI kodlama yöntemi ile değişen bit oranı sınırlaması ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi. ( $R_w=5$ , ROI bölgesi resmin %25'ü olan ortalanmış dikdörtgensel alan seçilmiştir.)

|           |                  | Çerçeve için                      |            |                                   |            | Sadece ROI bölgesi için            |            |                                  |            |                    |                  |
|-----------|------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------------------|------------------|
| Bit Oranı | Kullanılan Video | ROI ile tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz tüm çerçevenin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI ile ilgi bölgesinin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | ROI'siz ilgi bölgesin Ort.PSNR'ı | Std. Sapma | Çerçeve PSNR farkı | Bölge PSNR farkı |
| 0,1       | blue_sky         | 25,01                             | 1,05       | 26,57                             | 1,14       | 29,08                              | 2,19       | 26,28                            | 1,94       | -1,56              | 2,8              |
|           | pedesterian      | 30,99                             | 0,9        | 32,8                              | 1,01       | 36,59                              | 2,43       | 33,92                            | 2,09       | -1,81              | 2,67             |
|           | riverbad         | 27,32                             | 0,16       | 28,59                             | 0,14       | 30,97                              | 0,25       | 28,81                            | 0,24       | -1,27              | 2,16             |
|           | rush_hour        | 33,39                             | 0,35       | 35,2                              | 0,3        | 36,08                              | 0,21       | 34,04                            | 0,25       | -1,81              | 2,04             |
| 0,15      | blue_sky         | 26,5                              | 1,12       | 28,46                             | 1,19       | 31,15                              | 2,18       | 28,29                            | 1,93       | -1,96              | 2,86             |
|           | pedesterian      | 32,57                             | 1,14       | 34,49                             | 1,13       | 38,51                              | 2,64       | 35,91                            | 2,34       | -1,92              | 2,6              |
|           | riverbad         | 28,47                             | 0,16       | 30,12                             | 0,14       | 33,01                              | 0,31       | 30,43                            | 0,23       | -1,65              | 2,58             |
|           | rush_hour        | 35,3                              | 0,34       | 37,61                             | 0,3        | 38,87                              | 0,23       | 36,65                            | 0,25       | -2,31              | 2,22             |
| 0,2       | blue_sky         | 27,82                             | 1,42       | 29,9                              | 1,28       | 32,25                              | 1,92       | 29,72                            | 2,01       | -2,08              | 2,53             |
|           | pedesterian      | 33,94                             | 1,22       | 35,69                             | 1,21       | 39,7                               | 2,75       | 37,34                            | 2,44       | -1,75              | 2,36             |
|           | riverbad         | 29,42                             | 0,14       | 31,32                             | 0,12       | 34,25                              | 0,34       | 31,63                            | 0,23       | -1,9               | 2,62             |
|           | rush_hour        | 36,87                             | 0,29       | 39,29                             | 0,29       | 40,72                              | 0,23       | 38,42                            | 0,22       | -2,42              | 2,3              |
| 0,25      | blue_sky         | 29,05                             | 1,49       | 31,05                             | 1,3        | 32,8                               | 1,77       | 30,85                            | 2,03       | -2                 | 1,95             |
|           | pedesterian      | 35,01                             | 1,25       | 36,65                             | 1,3        | 40,56                              | 2,81       | 38,37                            | 2,57       | -1,64              | 2,19             |
|           | riverbad         | 30,31                             | 0,13       | 32,21                             | 0,13       | 35,25                              | 0,38       | 32,55                            | 0,27       | -1,9               | 2,7              |
|           | rush_hour        | 38,26                             | 0,28       | 40,65                             | 0,31       | 41,93                              | 0,23       | 39,9                             | 0,25       | -2,39              | 2,03             |
| 0,3       | blue_sky         | 30,11                             | 1,47       | 32,02                             | 1,27       | 33,26                              | 1,89       | 31,69                            | 1,94       | -1,91              | 1,57             |
|           | pedesterian      | 35,79                             | 1,27       | 37,43                             | 1,34       | 41,28                              | 2,8        | 39,13                            | 2,64       | -1,64              | 2,15             |
|           | riverbad         | 31,2                              | 0,13       | 33,07                             | 0,13       | 35,92                              | 0,39       | 33,39                            | 0,28       | -1,87              | 2,53             |
|           | rush_hour        | 39,52                             | 0,31       | 41,62                             | 0,29       | 42,87                              | 0,22       | 40,86                            | 0,25       | -2,1               | 2,01             |

**Çizelge A.12 :** Ağırlıklandırılmış örtülü ROI kodlama ile değişen kod bloğu büyüklüğü ile tüm çerçeve ve ROI bölgesi için PSNR değişimi (Rw=6, Bit oranı 0,15 bit/piksel)

| Kod Bloğu<br>Büyüklüğü | Kullanılan<br>Video | Çerçeve için                            |               |                                         |               | Sadece ROI bölgesi için                  |               |                                        |               | Çerçeve<br>PSNR<br>farkı | Bölge<br>PSNR<br>farkı |
|------------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|---------------|------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|
|                        |                     | ROI ile tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz tüm<br>çerçevenin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI ile ilgi<br>bölgesinin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma | ROI'siz ilgi<br>bölgesin<br>Ort.PSNR'ı | Std.<br>Sapma |                          |                        |
| 8x8                    | blue_sky            | 25,68                                   | 1,16          | 27,88                                   | 1,2           | 31,18                                    | 2,28          | 27,71                                  | 1,91          | -2,2                     | 3,47                   |
|                        | pedesterian         | 31,6                                    | 1,08          | 33,93                                   | 1,1           | 38,7                                     | 2,82          | 35,25                                  | 2,27          | -2,33                    | 3,45                   |
|                        | riverbad            | 27,58                                   | 0,15          | 29,65                                   | 0,14          | 33,22                                    | 0,35          | 29,9                                   | 0,24          | -2,07                    | 3,32                   |
|                        | rush_hour           | 33,99                                   | 0,34          | 36,83                                   | 0,29          | 38,87                                    | 0,22          | 35,77                                  | 0,23          | -2,84                    | 3,1                    |
| 16x16                  | blue_sky            | 26,21                                   | 1,11          | 28,46                                   | 1,19          | 31,27                                    | 2,2           | 28,29                                  | 1,93          | -2,25                    | 2,98                   |
|                        | pedesterian         | 32,22                                   | 1,07          | 34,49                                   | 1,13          | 38,65                                    | 2,68          | 35,91                                  | 2,34          | -2,27                    | 2,74                   |
|                        | riverbad            | 28,27                                   | 0,14          | 30,12                                   | 0,14          | 33,08                                    | 0,31          | 30,43                                  | 0,23          | -1,85                    | 2,65                   |
|                        | rush_hour           | 34,93                                   | 0,34          | 37,61                                   | 0,3           | 38,96                                    | 0,24          | 36,65                                  | 0,25          | -2,68                    | 2,31                   |
| 32x32                  | blue_sky            | 26,98                                   | 1             | 28,71                                   | 1,19          | 30,33                                    | 2,15          | 28,58                                  | 1,98          | -1,73                    | 1,75                   |
|                        | pedesterian         | 32,92                                   | 1             | 34,74                                   | 1,15          | 37,85                                    | 2,54          | 36,27                                  | 2,36          | -1,82                    | 1,58                   |
|                        | riverbad            | 29,14                                   | 0,14          | 30,34                                   | 0,13          | 32,1                                     | 0,27          | 30,68                                  | 0,24          | -1,2                     | 1,42                   |
|                        | rush_hour           | 36,2                                    | 0,29          | 37,97                                   | 0,28          | 38,21                                    | 0,28          | 37,05                                  | 0,22          | -1,77                    | 1,16                   |
| 64x64                  | blue_sky            | 27,64                                   | 1,29          | 28,77                                   | 1,18          | 29,1                                     | 1,81          | 28,62                                  | 1,98          | -1,13                    | 0,48                   |
|                        | pedesterian         | 33,92                                   | 1,12          | 34,82                                   | 1,16          | 37                                       | 2,34          | 36,37                                  | 2,36          | -0,9                     | 0,63                   |
|                        | riverbad            | 29,84                                   | 0,17          | 30,4                                    | 0,12          | 31,26                                    | 0,25          | 30,76                                  | 0,22          | -0,56                    | 0,5                    |
|                        | rush_hour           | 36,52                                   | 0,37          | 38,08                                   | 0,26          | 37,69                                    | 0,27          | 37,16                                  | 0,19          | -1,56                    | 0,53                   |



**EK A.2**



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Hamdi ÖZBAYBURTLU

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Kadıköy / 17.08.1984

**Adres:** S.Hakan Kurban Cad. Akasyalar Sok. 4/6 Atalar  
34862 Kartal ISTANBUL

**Lisans Üniversite:** Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik ve  
Haberleşme Müh.

Hamdi Özbayburtlu, 1984 yılında İstanbul’da doğdu. 2002 yılında Maltepe Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Elektronik Mühendisliği’nde lisans eğitimine başladı. 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği’ne geçiş yaptı. 2006 yılında lisans eğitiminden mezun olduktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi’nde Telekomünikasyon Mühendisliği yüksek lisans programına kabul edildi. Halen aynı anabilim dalında eğitime devam etmektedir.

2006 yılından bu yana Beko Elektronik A.Ş.’de Yazılım Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır. Bu süre zarfında gömülü sistemler üzerinde çalışan sayısal yayın (DVB) alıcılarla ilgili projelerde görev almıştır. Gömülü sistemler, ağ haberleşmesi ve gerçek zamanlı işletim sistemleri başlıca ilgi alanlarıdır.