

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOKLU ORTAM SERVİSLERİ İÇİN 2-BOYUTLU  
VIDEO VE DERİNLİK HARİTASI BAZLI 3-BOYUTLU  
VIDEO DERİNLİK ALGISI ÖLÇÜM METRİĞİ

Hüseyin BAYRAK

HAZİRAN 2014

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı** Hüseyin BAYRAK tarafından hazırlanan **ÇOKLU ORTAM SERVİSLERİ İÇİN 2-BOYUTLU VİDEO ve DERİNLİK HARİTASI BAZLI 3-BOYUTLU VİDEO DERİNLİK ALGISI ÖLÇÜM METRİĞİ** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ediz POLAT

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Gökçe NUR YILMAZ

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr. Ediz POLAT \_\_\_\_\_

Üye (Danışman) : Yrd.Doç.Dr. Gökçe NUR YILMAZ \_\_\_\_\_

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÖZDEN \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Sevgili Eşime ve Çocuğuma

## ÖZET

### ÇOKLU ORTAM SERVİSLERİ İÇİN 2-BOYUTLU VİDEO VE DERİNLİK HARİTASI BAZLI 3-BOYUTLU VİDEO DERİNLİK ALGISI ÖLÇÜM METRİĞİ

BAYRAK, Hüseyin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Gökçe NUR YILMAZ

Haziran 2014, 86 sayfa

3B Video Kalite Değerlendirmesi (VKD), 3B videoya artan ilgiyle birlikte günümüzün araştırmacıları için önemli çalışma alanı olmuştur. 3B videoda, 2B videoya derinlik algısının eklenmesi ile oluşturulan görsel gerçekçilik nedeni ile derinlik algısı ölçümü 3B VKD'nin en kritik kısımlarından birini oluşturmaktadır. Literatürde, 2 Boyutlu (2B) video için araştırmacılar tarafından kabul görmüş nesnel VKD algoritmaları olmasına karşın derinlik gibi 3'üncü bir boyutun da eklenmesi nedeni ile 3B video için aynı durum söz konusu değildir. Bu yüzden 3B derinlik algısı ölçümü için zaman ve maliyet açısından elverişsiz olan öznel testler kullanılmaktadır. Derinlik algısı metrikleri, özgün videonun referans olarak kullanılıp kullanılmamasına bağlı olarak Tam-Referanslı (TR), Azaltılmış-Referanslı (AR) ve Referanssız olarak üçe ayrılmaktadır. TR metrikler, ölçüm yapabilmek için verici tarafında bulunan özgün video dizisine ihtiyaç duyar. AR metrikler ise VKD için özgün video dizisinden çıkarılmış öznelikler gerektirirken Referanssız metrikler alıcı tarafta özgün video dizisine gerek duymaz. Bu özellikleri nedeni ile referanssız metrikler diğer metriklere göre daha verimlidirler. Bundan dolayı

güvenilir ve doğru bir derinlik algısı ölçümü için Referanssız nesnel bir metrik geliştirilebilmesi çok önemlidir.

Var olan kodlama ve iletim teknolojileri ile uyumluluğu ve esnekliğinden dolayı 2B+ derinlik haritası temelli 3B video, sol+sağ görüntü bazlı stereoskopik videoya nazaran daha yaygın kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni, Derinlik Haritaları (DH)'nın 2B videodan daha az bit oranına sahip olması nedeniyle kodlama verimliliğinin yüksek olmasıdır. Bu çalışmada da 2B+DH temelli 3B videolardaki DH kullanılmıştır. Tezde, özgün video dizisi kullanılmadan derinlik algısını ölçen üç farklı algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmalar bir araya getirilerek maliyetli ve zaman alıcı öznel testlerin yerine kullanılacak referanssız bir Derinlik Algısı Değerlendirmesi (DAD) metriği oluşturulmuştur.

DAD için geliştirilen algoritmaların ilki *Z Ekseninde Hareketin* ölçümü, ikincisi *Yapısal Ortalama Derinlik* ve sonuncusu videodaki nesnelere birbirinden ayrıklığını gösteren *Derinlik Sapması* algoritmasıdır. DAD sonuçlarının doğruluğunu göstermek için farklı bit oranlarında kodlanan videolardan elde edilen DAD sonuçları öznel ve literatürde çok kullanılan TR nesnel VKD sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve oldukça yüksek performans elde edilmiştir. Dolayısıyla önerilen DAD metriğinin özgün video dizisine ihtiyaç duymadan DH'ları hem yapısal hem kayıpsal olarak değerlendirerek derinlik algısını ölçümlemekte oldukça verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** 3B video, derinlik haritası, derinlik algısı değerlendirme, z yönünde hareket, yapısal derinlik, derinlik sapması.

## **ABSTRACT**

### **COLOR PLUS DEPTH MAP BASED 3D VIDEO DEPTH PERCEPTION MEASUREMENT METRIC FOR MULTIMEDIA SERVICES**

BAYRAK, Hüseyin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronical Engineering, P. G. Thesis

Supervisor: Assistant Prof. Gökçe NUR YILMAZ

June 2014, 86 pages

The 3D Video Quality Assessment (VQA) has been an important area for today's researchers due to the growing interest on 3D video. Depth perception measurement is one of the most critical parts of the 3D VQA due to the visual realism ensured by the depth perception added to 2-Dimensional (2D) video. Even though, there are widely accepted 2D objective VQA metrics in literature utilized by researchers, the case is not the same for the 3D video due to the inclusion of a 3<sup>rd</sup> dimension namely the depth.

Therefore, subjective tests, which are inefficient in terms of time and cost are utilized for the 3D depth perception measurements. The depth perception assessment metrics are divided into three categories based on the use of the reference signal in the assessment as Full-Reference (FR), Reduced-Reference (RR) or No-Reference (NR). The FR metrics require original video sequences on the transmitter side. The RR metrics require information extracted from the original video series whereas the NR metrics does not require any original video sequences on the receiver side for the VQA. Thus, the NR metrics are more efficient compared to the other metrics. Therefore it is very important to develop an objective NR metric for reliable and accurate depth perception assessment.

Due to the compatibility with existing coding and transmission technologies and its flexibility, the 2D + depth map (2D+DM) based 3D video is more commonly used than the left + right image-based stereoscopic video. The main reason for this is that the DM has less bit-rate than the 2D video and therefore has higher coding efficiency. In this study, the DMs of the 2D + DM based 3D video are utilized. In the thesis, three different algorithms measuring the depth perception without using the original video sequence are developed and they are then combined together to form a NR Depth Perception Assessment (DPA) metric. This metric is proposed as an alternative to the existing high cost and time-consuming subjective tests.

The first algorithm developed for the DPA is the *Z-Direction Motion* algorithm, the second one is the *Structural Average Depth* algorithm and the last one is the *Depth Deviation* algorithm that provides the identification of the objects in a video sequence. To present the accuracy of the DPA results, the DPA data obtained from the video sequences encoded in different bit rates are compared with the widely used subjective and objective VQA test results and high performance is achieved. Hence, it is concluded that the proposed DPA metric measure is highly efficient in measuring the depth perception by evaluating the DM both structurally and considering losses without the need of original video sequence.

**Keywords:** 3D video, depth map, depth perception evaluation, z direction motion, structural depth, depth deviation.

## **TEŞEKKÜR**

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Yd.Doç. Dr. Gökçe NUR YILMAZ'a, bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen Osman TORUNOĞLU'na teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Genel .....	1
1.2. 3B Görme Fizyolojisi .....	2
1.2.1. Monoküler, Okülomotor , Binoküler İpuçları Ve Steroskopik Görme ....	2
1.3. 3B Video Üretimi .....	6
1.3.1. Çift Lens Adaptörü (Sol+Sağ Görüntü) .....	6
1.3.2. 2B Video+Derinlik Haritası (2B+DH) .....	9
1.3.3. 2B-3B Dönüşümü .....	10
1.4. 3B Video Gösterimi .....	12
1.4.1. Anagram Yöntem .....	12
1.4.2. Polarize Yöntem .....	13
1.4.3. Aktif Yöntem .....	16
1.4.4. Gözlüksüz 3B .....	17

<b>2. LİTERATÜRDEKİ DERİNLİK ALGISI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ</b> .....	19
2.1. Derinlik Algısında Öznel Yöntemler .....	20
2.2. Derinlik Algısında Nesnel Yöntemler.....	20
2.2.1. Derinlik Algısı Ölçümü İçin Kullanılan Literatürdeki Nesnel 2B Video Kalite Ölçüm Yaklaşımları .....	21
2.2.2. Literatürdeki Nesnel 3B Video Derinlik Algısı Ölçüm Yaklaşımları....	23
<b>3. ÖNERİLEN DERİNLİK ALGISI ÖLÇÜM MODELİ</b> .....	25
3.1. Z Yönünde Hareket Ölçüm Algoritması.....	27
3.1.1. Derinlik Haritalarının Z Yönünde Hareket Açısından İncelenmesi.....	27
3.1.2. İleri-Geri Z Yönünde Hareket Değişiminin Ölçümü .....	29
3.1.3. Z Yönünde Hareket Sonuçları.....	33
3.2. Yapısal Ortalama Derinlik (YOD).....	40
3.2.1. DH'larının Yapısal Olarak İncelenmesi.....	40
3.2.2. YOD Ölçümü .....	41
3.2.3. YOD Sonuçları.....	49
3.3. Derinlik Sapması.....	51
3.3.1. DH'larının Derinlik Sapması Açısından İncelenmesi.....	52
3.3.2. Derinlik Sapması Ölçümü .....	52
3.3.3. DS Sonuçları .....	53
3.4. Derinlik Algısı Değerlendirmesi (DAD).....	56
<b>4. SONUÇLAR</b> .....	65
<b>KAYNAKLAR</b> .....	67

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Derinlik algısı için geliştirilen ZYH, YOD ve DS algoritmalarının performans değerlendirilmesi. ....	57
3.2 Geliştirilen DAD algoritmasının performans analizi.....	62
3.3 DAD, VQM, SSIM ve PSNR ile MOS puanlarının korelasyon katsayıları. ....	63
3.4 DAD puanlarının farklı videolar için karşılaştırılması. ....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 3B Ekran Verileri [2]: (a)2010-2014 yılları arası 3B ekran küresel pazar payı, (b)2006-2013 yılları arası 3B sinema ekran sayısı. ....	1
1.2 Steroskopik Görme [3]. ....	3
1.3 Eyfel Kulesi [6]. ....	3
1.4 Mısır Piramitleri [6]. ....	4
1.5 Taç Mahal [6]. ....	4
1.6 Helikopterler [9]. ....	5
1.7 Hareket Paralaksı: (a)Hareket Öncesi, (b)Hareket Sonrası [11]. ....	5
1.8 Gölge Dağılımlı Top [13]. ....	6
1.9 Çift Lensli Steroskopik Kamera [11]. ....	7
1.10 Yakınsama Açısı [17]. ....	8
1.11 Tsukuba: (a) sol, (b)sağ stereo görüntü çifti [17]. ....	8
1.12 <i>Orbi</i> görüntüsü: (a) 2B (Renkli) görüntü (b) Piksel başına derinlik bilgisi içeren derinlik haritası. Renk tonları, yakın eksen ( $Z_{near}$ ) ve uzak eksen ( $Z_{far}$ ) olacak şekilde normalize edilmiştir [18]. ....	9
1.13 Kinect: (A) Kızılötesi kaynak, (B) 2B Kamera, (C) Derinlik kamerası[19]. ....	10
1.14 2B-3B Dönüştürücü [20]. ....	11
1.15 Anagram 3B gösterim tekniği [23]. ....	13
1.16 (a)sağ/saat yönü, (b)sol/saat yönünün tersi dairesel polarizasyon ışık [11]. ....	14
1.17 Sağ ve sol görüntü sinyallerinin polarize edilerek ekrandaki piksellere satır satır verilmesi suretiyle polarize görüntüleme tekniği. ....	14
1.18 Polarize 3B Gösterim Tekniği [24]. ....	15
1.19 Aktif 3B Gösterim Tekniği [11]. ....	16

3.1	(a) <i>Advertisement</i> , (b) <i>Chess</i> , (c) <i>Interview</i> , (d) <i>Windmill</i> , (e) <i>Breakdance</i> videolarının 2B video ve bağlantılı derinlik haritalarının anlık görüntüleri. ....	26
3.2	<i>Advertisement</i> videosunun çeşitli görüntüleri ve onlara ait histogram grafikleri: (a) görüntü#15 (b) görüntü#70, (c) görüntü#150 .....	28
3.3	<i>Advertisement</i> videosuna ait histogram grafiklerinin video boyunca değişimi.....	29
3.4	Z yönünde hareket değişimi. ....	30
3.5	<i>Chess</i> videosuna ait görüntü#5 ve #4 $F_{fark}$ değerleri için gruplama örneği. ....	31
3.6	(a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Breakdance</i> , (d) <i>Chess</i> , (e) <i>Advertisement</i> video görüntülerinin ileri-geri derinlik değişimi. ....	36
3.7	<i>Windmill</i> , <i>Interview</i> , <i>Breakdance</i> , <i>Chess</i> ve <i>Advertisement</i> videolarının ortalama ileri-geri hareket değişimi.....	37
3.8	Farklı bit oranlarında kodlanan <i>Advertisement</i> , <i>Chess</i> , <i>Windmill</i> , <i>Interview</i> ve <i>Breakdance</i> videolarının ortalama (a) İleri hareket (b)Geri hareket değerlerinin karşılaştırılması. ....	38
3.9	Farklı bit oranlarında kodlanan (a) <i>Advertisement</i> , (b) <i>Chess</i> , (c) <i>Interview</i> , (d) <i>Windmill</i> , (e) <i>Breakdance</i> videoların z yönünde toplam hareket değişimi ..	39
3.10	Farklı bit oranlarında kodlanan <i>Advertisement</i> , <i>Chess</i> , <i>Windmill</i> , <i>Interview</i> ve <i>Breakdance</i> videolarının z yönünde toplam hareket değerlerinin karşılaştırılması.....	40
3.11	Yapısal Ortalama Derinlik Ölçümü .....	42
3.12	<i>Advertisement</i> videosunun (a)Ortalama Histogramı (b)BDD görülmektedir. ..	43
3.13	(a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan <i>Advertisement</i> DH'nın sırasıyla ortalama histogram, ${}_2$ BDD ve ${}_3$ BDD grafikleri.....	44
3.14	(a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan <i>Chess</i> DH'nın sırasıyla ortalama histogram, ${}_2$ BDD ve ${}_3$ BDD grafikleri.....	45
3.15	(a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan <i>Interview</i> DH'nın sırasıyla ortalama histogram, ${}_2$ BDD ve ${}_3$ BDD grafikleri.....	46

3.16	(a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan <i>Windmill</i> DH'nın sırasıyla ortalama histogram, $_2$ BDD ve $_3$ BDD grafikleri.....	47
3.17	(a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan <i>Breakdance</i> DH'nın sırasıyla ortalama histogram, $_2$ BDD ve $_3$ BDD grafikleri.....	48
3.18	Farklı bit oranlarında kodlanan (a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Breakdance</i> , (d) <i>Chess</i> , (e) <i>Advertisement</i> video görüntülerinin YOD yüzde değerleri.....	50
3.19	Farklı bit oranlarında kodlanan <i>Windmill</i> , <i>Interview</i> , <i>Breakdance</i> , <i>Chess</i> ve <i>Advertisement</i> videolarının YOD değerleri. ....	51
3.20	Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Breakdance</i> , (d) <i>Chess</i> , (e) <i>Advertisement</i> videolarının DS değerleri.....	54
3.21	(a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan sırasıyla <i>Windmill</i> , <i>Interview</i> , <i>Breakdance</i> , <i>Chess</i> ve <i>Advertisement</i> videolarının DS değerleri.....	55
3.22	Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Breakdance</i> , (d) <i>Chess</i> , (e) <i>Advertisement</i> videolarının ZYH, YOD ve DS değerleri.....	58
3.23	Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Breakdance</i> , (d) <i>Chess</i> , (e) <i>Advertisement</i> videolarının DAD sonuçları.....	60
3.24	Ortalama DAD puanı.....	64

## KISALTMALAR DİZİNİ

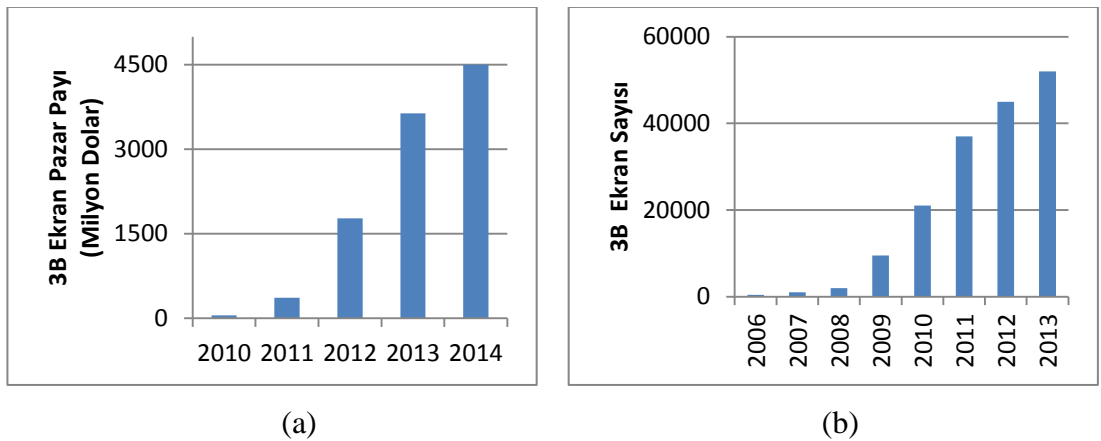
3B	3 Boyutlu
2B	2 Boyutlu
AR	Azaltılmış-Referanslı
BDD	Belirgin Derinlik Düzlemi
DAD	Derinlik Algısı Değerlendirmesi
DH	Derinlik Haritası
DS	Derinlik Sapması
İGS	İnsan Görme Sistemi
TR	Tam-Referanslı
PSNR	Peak-Signal-to-Noise-Ratio
SSIM	Structural Similarity Index
VQM	Video Quality Metric
VKD	Video Kalite Değerlendirmesi
YOD	Yapısal Ortalama Derinlik
ZYH	Z Yönünde Hareket

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel

3B videonun keşfinin onlarca yıl öncesine dayanmasına rağmen yakın bir zaman öncesinden itibaren hızlı bir şekilde yaygınlaşması ve 3B videoya artan bir ilginin olmasını, video kodlama ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknolojisinin gelişimine bağlamak pek yanlış olmayacaktır. 3B videoların, derinlik algısına sahip olmasıyla insanlar üzerindeki ilgi çekiciliğinin yüksek olması ve insanın normal hayattaki 3B görme özelliğini video ortamına taşıyarak izleyiciyi gerçekçi duygulara büründürmesi 2B videolara nazaran üstün özellikleri olarak sayabiliriz.

Video görüntü efektleri 3B olduğu takdirde insanı video içerisine alıp gerçekmiş gibi duygular yaşattığından dolayı 3B videolar insanların baştan beri ilgisini çekmektedir. Son zamanlarda 3B sinema filmleri, TV yayınları ve video oyunları artmıştır [1]. 3B TV panellerinin küresel pazar payı Şekil 1.1(a)'da görüldüğü gibi 2010 ve 2014 yıllarında sürekli artmıştır. Şekil 1.1(b) incelendiğinde dünya çapında 3B sinema ekran sayısı 2013'te 52.000'e ulaşmıştır. Bu verilerden anlaşılıyor ki 3B panel üretici şirketler bir önceki seneye göre satışlarda %100'e varan artışlar yaşamakta ve pazar payı gitgide büyümektedir [2]. Bu da insanların 3B'ye olan ilgisinin bir kanıtıdır.



Şekil 1.1 3B Ekran Verileri [2]: (a)2010-2014 yılları arası 3B ekran küresel pazar payı, (b)2006-2013 yılları arası 3B sinema ekran sayısı.



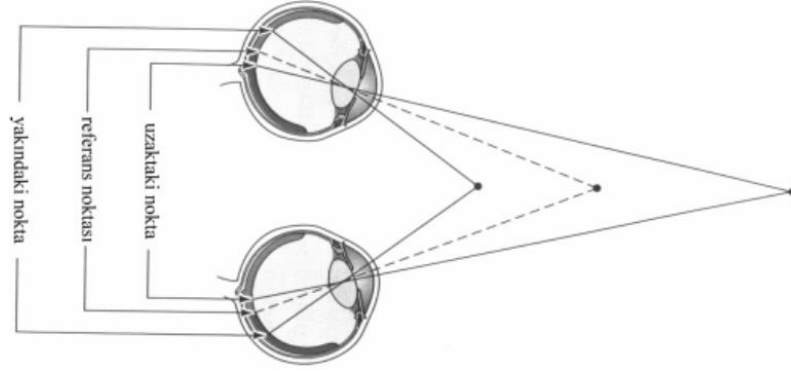
## 1.2. 3B Görme Fizyolojisi

Gerçek dünyadaki cisimlere baktığımızda cismin genişliği ve yüksekliğini görürüz. Aslında tabiatta var olan her nesne görünüş olarak bir sinema perdesi gibi iki boyutludur. Bizim üç boyutlu görebilmemiz beyinde oluşan bir derinlik algısıdır. Yani gözümüze gelen iki boyutlu görüntüler beyinde birleştirilip üçüncü boyut olan derinlik algısı oluşur. İki boyutlu retinal görüntünün üç boyutlu bir görüntüye dönüştürülmesine *derinlik algılaması* denir [3]. Merkezi sinir sisteminde bu işlev, farklı mekanizmaların birlikte çalışması ile gerçekleştirilir. Bu mekanizmalar derinlik bilgisinin kullanılmadığı *monoküler* ipuçlarından, okülomotor sistemden sağlanan *okülomotor* ipuçlarından ve derinlik bilgisi içeren *binoküler* ipuçlarından yararlanır. [4]. Derinlik algısı sayesinde gördüğümüz cisimlerin yakınlığını-uzaklığını veya bize yaklaşp-uzaklaştığını fark etmekteyiz. Şimdi görüşümüzde derinlik algısını oluşturan *monoküler*, *okülomotor*, *binoküler* ipuçlarından ve nasıl stereoskopik (3B) gördüğümüzden bahsedeceğiz.

### 1.2.1. Monoküler, Okülomotor, Binoküler İpuçları Ve Steroskopik Görme

İnsan beyni iki gözü sayesinde elde ettiği farklı açılardaki görüntüyü işleyerek derinlik algısını oluşturur. Bu tür görme olayına binoküler veya stereoskopik görme denir [4]. Stereoskopik görme aşamaları iki binoküler ipucundan meydana gelir. Bunlar:

- a) Stereopsis (Retinal Eşitsizlik): Her göz bakılan bir sahnenin biraz farklı bir görüntüsünü alır. Aynı iki görüntü arasındaki fark, yakındaki nesneler arasındaki mesafelerin oranını belirlemek için kullanılır.
- b) Yakınsama: Nesne göze doğru yaklaşırken her görüş çizgisi arasındaki açı daha büyük olur. Şekil 1.2'yi incelediğimizde uzak, yakın ve referans noktalarından göze gelen görüntülerdeki açı farklılığı gözükmemektedir. Yakın referans noktasındaki açı fazla, uzak referans noktasındaki açı ise daha küçüktür. Baktığımız cisimler bizden uzaklaştıkça gözlerimize gelen görüntülerdeki açı çok azalacağından ötürü derinlik algısı zayıflayacak ve yaklaşık 10 m'den sonra bu yakınsama etkisi kaybolacaktır.



**Şekil 1.2** Stereskopik Görme [3].

Derinliğin belirlenmesi için beyinde monoküler ipuçları denen bir sistem de mevcuttur. Beyin bu ipuçlarını kullanarak bakılan cisim çok uzakta da olsa, cisme tek gözle bakılsa da veya 2B resimlere bakarak da derinlik bilgisini elde etmektedir [4]. Bu monoküler ipuçları şunlardır:

- 1) Önceden Sahip Olunan Boyut Bilgisi: Nesnenin büyüklüğünün bilinmesi halinde uzaklığının tahmin edilebilmesidir [5]. Aşağıda görülen Şekil 1.3'te bir kız çocuğu ve Eyfel Kulesi eşit uzunlukta görülmektedir. Kulenin insan boyundan çok daha büyük olduğu bilindiğinden kız çocuğu önde, Eyfel Kulesi ise geri planda olduğu beyin tarafından algılanmaktadır.



**Şekil 1.3** Eyfel Kulesi [6].

- 2) Oklüzyon: Bir nesnenin diğeri gizlemesi durumunda gizlenen nesnenin uzakta, gizleyen nesnenin yakında olduğunun bilinmesidir [5]. Aşağıdaki
- 3) Şekil 1.4'deki resme baktığımızda art arda dizilmiş Mısır Piramitleri görülmektedir. Küçük piramitler en öndedir çünkü diğ büyük piramitleri gizlemişlerdir. Büyük piramitlerden ise sağdaki en uzaktadır çünkü diğ piramitler tarafından gizlenmiştir.



**Şekil 1.4** Mısır Piramitleri [6].

- 4) Lineer Perspektif: Birbirine paralel çizgilerin gözden uzaklaştıkça birbirine yaklaştığının bilinmesidir [7] [8]. Aşağıdaki Şekil 1.5'deki resme baktığımızda paralel çizgiler halinde devam eden havuz bize derinlik hattı oluşturarak derinlik bilgisi vermektedir. Havuz yakından uzağa (derine) doğru ilerleyip Taç Mahal'da sonlanmıştır.



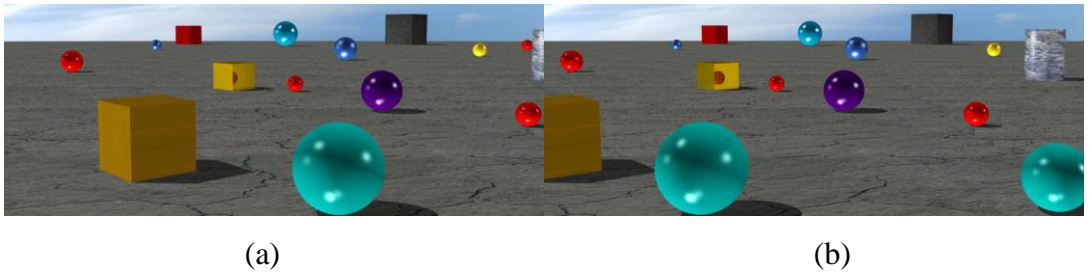
**Şekil 1.5** Taç Mahal [6].

- 5) Ölçü perspektifi: Boyutları aynı olan nesnelere küçük görünenin daha uzakta olduğunu bilmesidir [5]. Şekil 1.6'da uçuş halinde görülen iki adet helikopterden üstteki diğerinden daha küçük boyutta görüldüğünden daha uzaktadır.



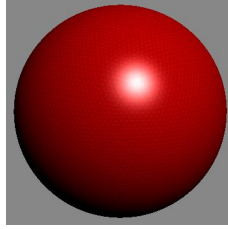
Şekil 1.6 Helikopterler [9].

- 6) Hareket paralaksı: Başın bir yöne hareket ettirilmesiyle, yakındaki nesnelerin uzaktaki nesnelere göre daha çok yer değiştirdiğinin bilmesidir [10]. Şekil 1.7'de soldan sağa doğru kamera hareketi yapılırken yakındaki nesnelerin yer değiştirmesi fazla olurken uzaktaki nesnelerin neredeyse yer değiştirmemiştir.



Şekil 1.7 Hareket Paralaksı: (a)Hareket Öncesi, (b)Hareket Sonrası [11].

- 7) Gölge dağılımı: Aydınlık ve karanlık bölgelerin dağılımının derinlik imajı uyandırması [12]; örneğin Şekil 1.18'deki nesnenin aydınlık kenarının daha yakında olarak algılanmasıdır.



**Şekil 1.8** Gölge Dağılımlı Top [13].

### **1.3. 3B Video Üretimi**

İnsan bakışındaki derinlik algısı, iki gözü sayesinde, bakılan objenin farklı açılardaki görüntüsünün beyne ulaşması sonucu oluştuğu Bölüm 1.2'de bahsedilmişti. Bu bilgiden yola çıkarak bir videonun 3B olarak algılanabilmesi için sağ ve sol olmak üzere iki farklı açıdan çekilmiş görüntüler gerektiği açıkça anlaşılabilir. Bunu göz önüne alarak geliştirilen ve en yaygın olarak kullanılan 3B video çekim/oluşturma teknikleri bu bölümde açıklanmıştır.

#### **1.3.1. Çift Lens Adaptörü (Sol+Sağ Görüntü)**

İnsanın iki gözü arasındaki mesafe yaklaşık 6,5 cm'dir. Şekil 1.9' da görülen çift lens adaptörünü oluşturan kameralar arası mesafe de insan gözünün bir takliti şeklinde dizayn edilerek 6,5 cm'ye ayarlanmıştır. Çift lensi sayesinde kameraya gelen farklı açılardaki aynı görüntüler sağ ve sol olmak üzere bir filme kaydedilebilmektedir. Lensler arası mesafe 65 mm olduğunda çekilen görüntü, insanın dünyayı görme biçimine yakın olur. Bu mesafeyi değiştirmek seyircinin gözünde görüntünün manipüle olmasına neden olur. Eğer lens açıklığı 65 mm'den daha küçük olursa 3B görüntü daha düz, bu mesafe 65 mm'den daha fazla olursa 3B görüntülerdeki objeler

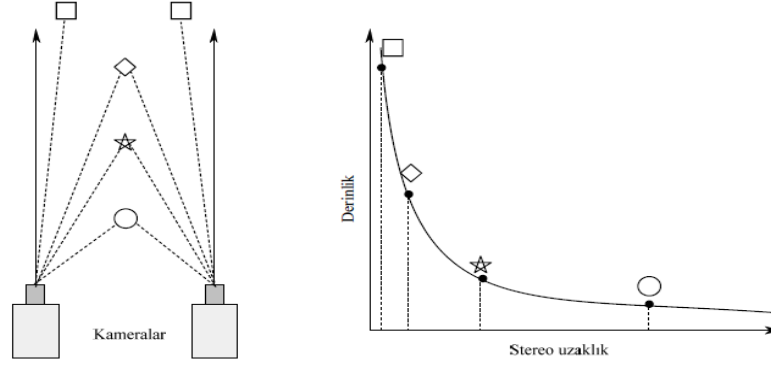
minyatür gibi ya da izleyicilerin gözünde derinlik algısından dolayı, devasa boyutlarda görünecektir [14].



**Şekil 1.9** Çift Lensli Stereskopik Kamera [11].

Bazı kameralar da ise çift lens sistemi yerine aynı özelliklere sahip ayrı iki kameranın yan yana getirilerek çekim yapılmaktadır. Bu sistemde farklı açılara sahip aynı video görüntüleri her biri bir filme kaydolmak üzere toplam iki filme birden kayıt yapılmaktadır. Amaç, sağ ve sol lense gelen görüntüyü kaydedebilmektir.

Yakınsama açısı (angle of convergence) çift lens adaptörlü kameralar için önemli bir parametredir [14]. Yakınsama açısı Şekil 1.10'da görüldüğü üzere kamera lenslerinin arasındaki açıdır. Yakınsama açısı, derinliğin algılanmasında önemli bir faktördür. Şekil 1.2 incelendiğinde de uzak-yakın nesnelerin insan gözleri arasındaki açı farklılığıyla ilişkili olduğu görülmüştü [15]. Kamera lensleri açılı bir şekilde kurulursa lenslerin optik eksenlerinin kesişimi ekran düzlemi olur. Yakın objeler ekranın önünde, uzak objeler ise ekranın arkasında gözüktür.



**Şekil 1.10** Yakınsama Açısı [17].

Açı olmaksızın birbirine paralel lenslerle görüntü çekimi yapan kamera sistemi de mevcuttur. Bu tür kameralar paralel görüntü çekimi yapar ve ardından elektronik görüntülerde, video işlemeyle yatay hizalama (yakınsama) değişiklikleri yapıp derinlik algısı oluşturulabilir fakat yakınsama açısına sahip kameralar kadar etkili 3B efekti meydana getiremezler. Sonuçta bu tarz 3B çekimlerde Şekil 1.11’de görüldüğü gibi yan yana kareler şeklinde video oluşur.

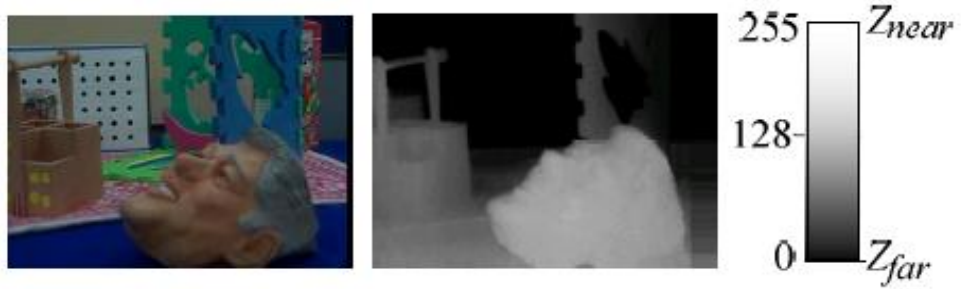


**Şekil 1.11** Tsukuba: (a) sol, (b)sağ stereo görüntü çifti [17].

### 1.3.2. 2B Video+Derinlik Haritası (2B+DH)

3B video, stereoskopik çekimin yanı sıra 2B+DH denilen yöntemle de elde edilebilmektedir. 2B+DH videoları, tek lensli kameralarla çekilen 2B videoya, DH dediğimiz derinlik bilgisi içeren videonun senkronize edilmesiyle oluşturulur. Var olan kodlama, iletim teknolojileri ile uyumluluğu ve esnekliği nedeniyle 2B+DH temelli 3B video sol+sağ görüntü bazlı stereoskopik videoya nazaran daha yaygın kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni, DH'nın 2B videodan daha az bit oranına sahip olduğundan kodlama verimliliğinin yüksek olmasıdır [18].

Şekil 1.12'de *Orbi* videosuna ait 2B video ve DH'nın anlık bir görüntüsü görülmektedir. 2B video ve DH'nın uzamsal ve zamansal nitelikleri aynıdır. DH'lardaki her bir piksel bağlantılı olduğu 2B videoda bir piksel değerine karşılık gelmektedir. Derinlik menzili 8 bit ile kuantize edilir. DH piksel değerleri 0 ila 255 arasında değişen gri renk değerleridir. 255 değerine sahip piksel, 3B videoda izleyiciye en yakın derinlik bilgisini oluştururken 0 değerliğine sahip piksel ise izleyiciye en uzak derinlik bilgisini verir. 2B video ve derinlik bilgisi 3B doğrultuda ekrana yansıtılmak üzere Şekil 1.11'deki gibi bir stereo çift olarak işlenir.



(a)

(b)

**Şekil 1.12** *Orbi* görüntüsü: (a) 2B (Renkli) görüntü (b) Piksel başına derinlik bilgisi içeren derinlik haritası. Renk tonları, yakın eksen ( $Z_{near}$ ) ve uzak eksen ( $Z_{far}$ ) olacak şekilde normalize edilmiştir [18].

DH, derinlik kamerası denilen cihazla elde edilir. 2B+DH tabanlı video çekimi için kullanılan çeşitli özel kameralar mevcuttur. Şekil 1.13'te görülen *kinect* cihazı, 2B



video çekimi yapan kamera, çekilen 2B videonun DH'sını çıkarabilmek için bir kızılötesi kaynak ve alıcıdan oluşan derinlik kamerasına örnektir.



**Şekil 1.13** Kinect: (A) Kızılötesi kaynak, (B) 2B Kamera, (C) Derinlik kamerası[19].

*Kinect* cihazı 2B kamerasıyla renkli videoyu kaydetmektedir. Kızılötesi kaynak elektromanyetik yayın yapar. Kızılötesi elektromanyetik dalgalar önlerine gelen cisimlere çarpar ve yansımalar olur. Derinlik kamerası yansıyan kızılötesi dalgaları algılar. Algılanan ışınların içerdiği yakınlık uzaklık bilgisinin siyah beyaz (gri) tonda resmedilmesiyle DH oluşur [19].

### 1.3.3. 2B-3B Dönüşümü

2B videoyu 3B videoya dönüştürme işlemi basit cihazlar veya profesyonel firmalar tarafından gerçekleştirilir. Şekil 1.14'de görülen cihaz 2B videoyu 3B videoya dönüştürebilen bir sistemdir. Bu dönüştürücüler donanımlardaki yazılım sayesinde 2B bir görüntüyü uçlarından keserek ve birbiri üzerinde kaydırarak 3B görüntü elde edilmesini sağlar ancak etkili 3B efektler oluşturamaz. 3B görüntüde derinlik efektlerinin algılanabilmesi için stereo kameraların odak noktaları ve çekim açılarının çok büyük önem arz ettiğini bölüm 1.3.1'de açıklamıştık. Bu tür 3B'ye çevirim yapan yazılımlar çoğu 3B TV'lerde mevcuttur. 3B dönüştürücü sistemler stereoskopik çekim ve 2B+DH yöntemlerinden ucuzdur ama 3B efekti bakımından etkili değildir.



**Şekil 1.14** 2B-3B Dönüştürücü [20].

2B-3B dönüştürme işlemini gerçekleştiren profesyonel şirketler de mevcuttur. Bazı sinema yapımcıları bu şirketlere 2B çektiği filmi 3B'ye çevirttirip izleyicilere filmlerini 3B olarak sunmaktadır. Jurassic Park(1993) ve Titanik(1997) filmlerini örnek olarak verebiliriz. 1993 yapımı olan ve 2B çekilen Jurassic Park filmi 2013'de Stereo D şirketi tarafından stüdyo ortamında 700'den fazla sanatçıyla 9 ayda 3B video haline dönüştürülmüştür [21] ve 20 yıl sonra tekrar gösterime girmiştir. Film 3B versiyonuyla dünya çapında 65 milyon dolar hasılat elde etmiştir [22]. Bu örnekler sadece 90'lı yıllara ait filmlerde görülmemektedir. Aynı Stereo D şirketi "The Avengers (2012)", "Hansel and Gretel - Witch Hunters (2012)", "Star Trek Into Darkness (2012) gibi günümüz sinema filmlerinde 2B'den 3B'ye dönüştürmüştür [21].

Sinema yapımcıları filmlerde birçok bilgisayar efekti kullanmaktadır. Bu nedenle her film ya da filmin herhangi bir sahnesi stereoskopik çekilemeyebilir veya derinlik kameralarıyla DH çıkarılamayabilir. Animasyon filmleri buna iyi bir örnektir. 3B Animasyon filmleri tamamen bilgisayar ürünüdür ve kamera çekimi yoktur. Bu nedenle yapılan profesyonel 3B dönüştürme işlemini 3B video üretim tekniklerinden sayabiliriz.

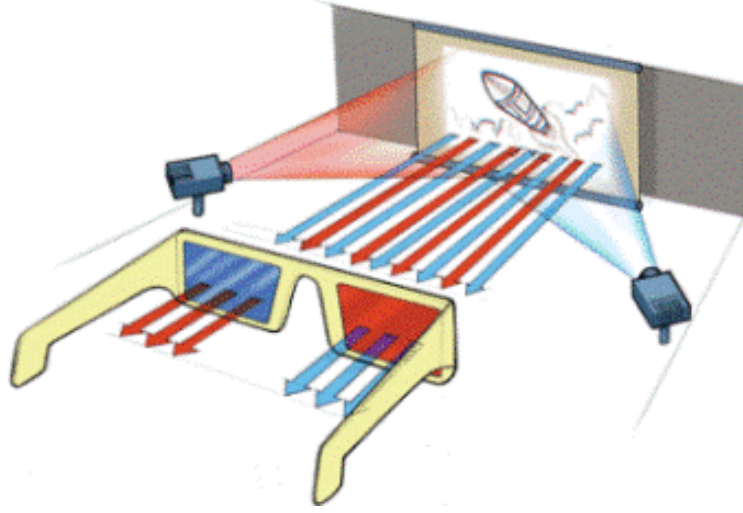
Bu profesyonel şirketler tarafından yapılan dönüştürme işlemi sonucunda ortaya çıkan filmin 3B efektleri, şirketin harcadığı zamana ve paraya bakarak Şekil 1.14'deki cihazın yaptığı 3B efektlerinden çok daha fazla olduğu aşikârdır. Fakat şirketlerin dönüştürdükleri 3B videolar ile stereoskopik veya 2B+DH teknikleriyle çekilen videolar arasında 3B efekti bakımından karşılaştırma yapmak doğru olmayabilir.

#### **1.4. 3B Video Gösterimi**

Bir stereoskopik 3B video, her bir göz için hizalanmış iki görüntü kanalı içerir. 3B video gösterim yöntemlerinde en önemli unsur, sağ ve sol olmak üzere stereo çifti halinde bulunan görüntüleri insanın iki gözüne ayrı ayrı, doğru bir şekilde iletilebilmesidir. Yani 3B video gösteriminde ortak özellik, sağ video görüntüsü sadece sağ gözün görmesi ve sol video görüntüsünü sadece sol gözün görmesi sağlanacak şekilde çeşitli tekniklere sahip olmasıdır. Bu tekniklerin çoğu özel gözlükler kullanılarak sağlanmıştır. Özel üretilen bu gözlükler, 3B videonun gösterildiği ekrandan çıkan sağ göze ait video çerçevesinin sol göze ve sol göze ait video çerçevesinin sağ göze ulaşmasını engellemektedir. Böylece izleyiciler gerçekte herhangi bir derinliği olmayan düz ekranda videoyu gözlük sayesinde 3B izleyebilecektir. 3B videonun gösteriminde farklı teknikler olduğu gibi gözlüklerde de değişik yöntemlere dayanan teknolojiler kullanılmıştır [11]. 3B video gösterimi üzerine çalışan AR-GE grupları gözlüksüz 3B olabilirliği üzerinde çalışmış ve bunu da başarmışlardır. 3B video gösteriminde çoklukla kullanılan teknikler aşağıdadır.

##### **1.4.1. Anagram Yöntem**

3B filmleri sinema ortamında izlemek için geliştirilen ilk yöntemdir. Anagram yöntemde, her bir göze yönelik farklı açılı görüntüleri görünür renk spektrumunun bir kısmını kaldırmak için renk filtreleri kullanılarak oluşturulur. Farklı görüş açılarına sahip video sinyali iki ayrı projeksiyon cihazından sinema perdesine yansıtılır. Video ilk projeksiyondan mavi ya da yeşillendirilmiş olarak yansıtılırken diğer projeksiyondan kırmızılaştırılmış olarak yansıtılır. İzleyiciler mavi-kırmızı ya da yeşil-kırmızı gözlüklerden takması gerekir. Şekil 1.15'de görüldüğü üzere gözlükleri taktıktan sonra mavi lens ve kırmızı lensler diğer renkleri bloke edeceğinden iki göze aynı sahne farklı açılarla ulaşmış olacaktır. Böylece video 3B olarak görünür.

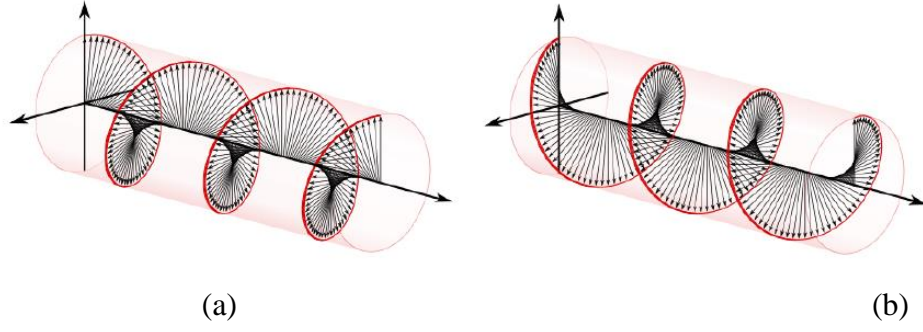


**Şekil 1.15** Anagram 3B gösterim tekniği [23].

Anagram yöntem özel bir görüntüleme sistemine ihtiyaç duymaz. Yani video çerçevelerinin, renk bileşenleriyle oynayarak 2B televizyonda bile anagram yöntem gerçekleştirilebilir. Gözlük çok ucuz ve basittir. Bunların yanı sıra anagram yöntemin en büyük dezavantajı, videoyu mavi-kırmızı olarak filtreleyerek görüntü kalitesini oldukça düşürmesidir.

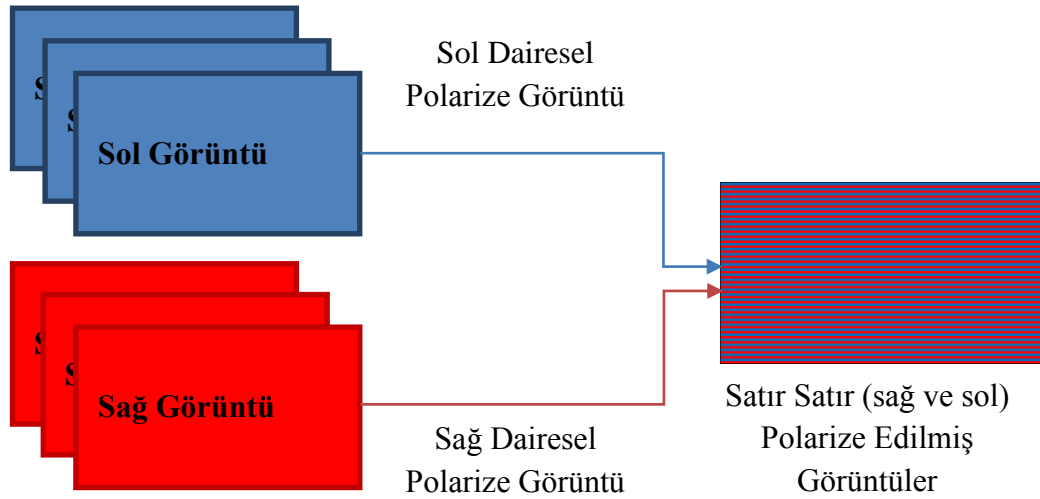
#### **1.4.2. Polarize Yöntem**

Işığın düz bir çizgide hareketi olsa da sağ ve sol dairesel olarak yönlendirilebilir. Bu işleme polarizasyon denir. Polarizasyon Filtresi yöntemi ise 3B görüntüleme konusunda en geniş kullanıma sahip tekniktir [11]. Bu gün Real3D sinemada kullanılan teknik budur. Polarize özelliğine sahip modern 3B TV'ler ve ekranlar içerdiği her bir pikselden kırmızı, yeşil ve mavi dalga boylarının bazı kombinasyonunda yaydığı ışığı polarize edebilirler. Örneğin Şekil 1.16'de bir ışık demetinin spiral grafiğın merkezi boyunca hareketi resmedilmiştir. Hareket ekseninden dışarı doğru işaret eden oklar ışık demetinin elektrik alandaki oryantasyonunda değişen yönünü temsil eder.



**Şekil 1.16** (a)sağ/saat yönü, (b)sol/saat yönünün tersi dairesel polarizasyon ışık [11].

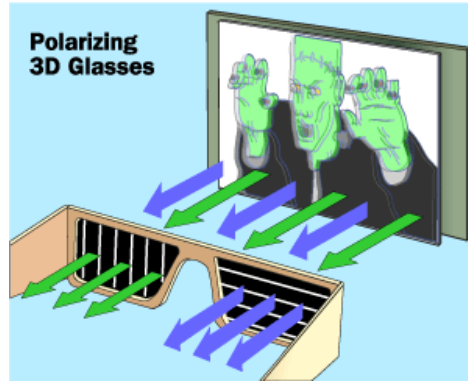
Bu sistemde görüntüleme teknolojisi Şekil 1.17’de blok diagramı verildiği gibi açıklayabiliriz.



**Şekil 1.17** Sağ ve sol görüntü sinyallerinin polarize edilerek ekrandaki piksellere satır satır verilmesi suretiyle polarize görüntüleme tekniği.

3B görüntü piksellerinin yarısı bir göz için sağ dairesel yönlendirilir. Aynı şekilde piksellerin diğer yarısı diğer göz için sol dairesel olarak yönlendirilir. Böylece ekrandaki görüntü aynı anda sağ ve sol olmak üzere fakat farklı polarizasyonlarda yayınlanmış olur. Pasif gözlük olarak da adlandırılan uygun filtreleme sahip bir gözlük ile izleyicinin gözlerine, imajlarına ayrılmış 3B görüntü çifti ulaşır. Bunu

sağlayan polarize edilmiş gözlük camlarıdır. Dairesel polarize ile yönlendirilen ışık aynı yönlendirmeli bir polarizasyon filtresi içinden geçebilir aksi takdirde farklı polarizasyon filtresi tarafından bloke olacaktır. Gözlük camının birinde sağ dairesel ışık yönlendirmesini geçiren filtre uygulanırken, diğerinde sol dairesel ışık yönlendirmesini geçiren filtre uygulanır. Şekil 1.18’da polarize 3B gösterim tekniği resmedilmiştir.



**Şekil 1.18** Polarize 3B Gösterim Tekniği [24].

Polarize bir ekran tarafından sağlanan etkin çözünürlük her bir göz için tam ekran çözünürlüğünün yarısına düşer. Polarize ekranlar 3B video görüntülemek için en pahalı yollardan biridir ve bu yöntem özel bir ekran teknolojisine ihtiyaç duyar ancak polarize gözlükler oldukça ucuzdur [11]. Şu da bilinmelidir ki polarize ekranlarda ışığı mükemmel bir şekilde filtreleyebilmek, her bir göz için doğru yönlendirme anlamında ışığı %100 geçirmek daima mümkün değildir. Benzer şekilde polarize 3B gözlükler her iki göz için ışığı daima %100 engelleyemez. Bir sinyal aynı iletim yolu boyunca başka sinyal hareketinin içine sızabilir. 3B görüntüleme sistemleri için, bu sızma çift görüntülere (bulanık, keskin olmayan görüntüler) yol açar. Eğer izleyici doğrudan ekranın önünde dik olarak değilse 3B polarize ekranlarda görüntü kalitesi fark edilir derecede azalır.

### 1.4.3. Aktif Yöntem

Bu teknik Şekil 1.19’de resmedildiği gibi 3B video görüntü karelerinin sıralı görüntülemesi ile gerçekleşir ve bu teknikte aktif gözlük olarak da adlandırılan özel gözlükler kullanılmalıdır [11]. Günümüzde *XPAND* ve *IMAX* sinemaları bu teknoloji ile çalışır. Bu özelliğe sahip yeni nesil televizyonlar veya projektörler sol-sağ 3B video görüntü çiftlerini hızlı bir biçimde bir dizi halinde ekrandan seyirciye gönderir. Ekranı izleyen izleyicilerde görüntü titreşiminin önlenmesi için televizyon veya projektörün 120 Hz veya daha yüksek bir yenileme hızına sahip olması gereklidir [11]. Yenileme hızı 120 Hz frekansına sahip bir 3B TV saniyedeki 120 görüntü karesinin 60’ını 3B videonun sağ görüntüsü diğer 60’ını ise sol görüntüsü olacak şekilde sıralı gösterir. 3B video görüntüleri 3B ekranda sıralı şekilde sağ-sol olarak yayınlanır. İzleyicilerin taktığı aktif gözlük sayesinde bu sıralı gelen sol-sağ görüntüler ilgili göze iletilir.

Bu gözlüklerin çalışma biçimi Bölüm 1.4.2’de bahsedilen polarize gözlüklerden biraz daha karmaşıktır. Aktif gözlüklerde sağ taraf ile sol taraftaki lensler arasında 3B ekranla senkronize bir kapanıp açılma eylemi vardır. Aktif Shutter gözlüklerde, her gözün önünde sıvı kristal lensler kullanılır. Camlar, bir baz istasyonundan gelen senkronizasyon sinyalini (Kızılötesi, RF, Bluetooth) alır ve bu sinyal ekranla gözlüğü senkronize etmek için kullanılır. 3B ekranda sağ görüntü belirdiğinde gözlüğün sol lensi karanlık ve tam tersi sol görüntü belirdiğinde ise gözlüğün sağ lensi karanlık olacaktır. Bu işlem saniyede 120 defa veya daha fazla gerçekleşir.



Şekil 1.19 Aktif 3B Gösterim Tekniği [11].

Aktif gözlüklerin polarize gözlüklere nazaran avantajları ve dezavantajlarını aşağıda sıralanmıştır:

- Aktif Gözlükler, 3B filmleri tam çözünürlükte görüntüleyebilir, doğal renkler sunabilir ve özel (polarize) ekranlara ihtiyaç duymaz. Polarize tekniğinde ise görüntü çözünürlüğü yarıya inmektedir.
- Gözlük ekranda mükemmel senkronize edildiğinde ve bunun için ayarlandığında, her göz ilgili görüntü karesini görecektir. Bu sonuç, birçok keskin ve net 3B algısı oluşturacaktır. Polarize gözlüklerde ise gözlükteki filtreler ışığı %100 kapasitede geçirme veya engelleme yapamamaktadır.
- Aktif gözlükler polarize gözlüklere nazaran pahalıdır. Bir Aktif gözlük fiyatı 60 ila 300 lira arasında değişmektedir. Aktif Gözlük içinde bulunan elektronik devre ve bu devreye güç sağlayacak bataryanın olması dezavantajdır. Ayrıca aktif gözlük mide bulantısı, baş ağrısı, baş dönmesi gibi şikâyetlere neden olabilmektedir [11].
- Aktif gözlüğün en kötü yanı ise pencere oranını yarı yarıya düşürüyor olmasıdır. Çünkü aktif yöntemde, iki göze aynı anda video görüntüsünün ulaşması engellenir.
- Aktif yöntemde görüş kalitesi, izleyenin baş pozisyonuyla veya ekranı görüş açısıyla çok değişmez. Polarize tekniğinde ise izleyici ekranın dönük olduğu yön merkezi boyunca konumlanmamışsa görüntü kalitesi sorunları yaşanmaktadır.
- Aktif gözlüklerde bir kareden sonrakine geçiş esnasında "kesme aralığı" oluşabilmektedir. Polarize gözlükte ise görüntü süreklilik arz eder.

#### **1.4.4. Gözlüksüz 3B**

Otostereoskopik olarak da adlandırılan bu ekranlar uyumlu gözlüğe ya da ekstra bir donanıma gerek olmadan 3B videoların algılanmasını sağlar. Stereo resim çiftleri birbirleriyle yan yana olacak şekilde küçük ve eşit boyutta şeritlere bölünür. *Lenticular System* adı verilen görüntü ara yüzü kırılma efektlerinin doğru uzaklıkta, doğru şerit ve açıda gerçekleşmesini sağlar ve gözün açısına uygun olup olmadığını kontrol eder. Beynimiz ise bu şeritlerdeki imajları bir araya getirerek görüntüye derinlik hissi katılmış olarak algılar.



Bu sistem herhangi bir gözlüğe gerek duymamasına rağmen oldukça pahalı bir teknolojidir. Otostereoskopik görüntüleme sisteminde algılanan derinliği kayba uğratmamak için gösterim esnasında seyircinin minimum seviyede hareket etmesi, belirli bir açıdan çıkmaması gerekiyor. Ayrıca ekranın toplam çözünürlüğü iki göze bölüştürüldüğü için düşüyor.

## 2. LİTERATÜRDEKİ DERİNLİK ALGISI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

3B videonun 2B videolardan en önemli farkı z yönünde derinlik değişimine ve algısına sahip olmasıdır. Bu özelliği sayesinde 3B videolar kullanıcıların ve araştırmacıların baştan beri ilgisini çekmektedir. 3B video uygulamalarına karşı günden güne artan ilgiyle birlikte, 3B VKD bugünün teknolojik dünyasında önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir [18]. 3B video uygulamaları ve teknolojilerinin gelişiminin hızlanması, bu uygulama ve teknolojilerin 3B video algısı üzerindeki etkilerinin, 3B VKD sonuçları ile belirlenmesi yoluyla gerçekleştirilebilir.

Algılanan 3B video kalitesi, çeşitli ön-işleme, kodlama, iletim ve görüntüleme yöntemlerinden etkilenir. 3B video kalitesi, görüntü netliği, doğallığı, varlığı, stereo bozukluklar, konfor ve algılanan derinliği gibi algısal niteliklerin bir birleşimi olarak kabul edilebilir [25] [26] [27]. Güvenilir 3B VKD için verimli derinlik algısı ölçümü gerekir.

Literatürde derinlik algısı değerlendirmesi, gerçek insan gözlemcilerin kullanıldığı öznel değerlendirmeler ve matematiksel algoritmalara dayanan nesnel değerlendirmeler ile yapılmaktadır. Literatürde güvenilir ve verimli bir derinlik algısı değerlendirilmesinin olmaması yüzünden, 3B video derinlik algısı için, Bölüm 2.1’de bahsedilecek olan kullanıcıların görüşlerini en verimli şekilde iletmesi nedeniyle öznel testler kullanılmaktadır. Öznel testlerin çok zaman alması ve maliyetli olması 3B video teknolojileri ve ticari ürünlerin gelişmesi ve ilerlemesi üzerine olumsuz etkileri vardır. Bu uzun öznel değerlendirme testlerinin zaman alıcı olması tüketici pazarında 3B ürünlerin zamanında kullanılabilirliğini engellemektedir [25]. Bundan dolayı 3B derinlik algısı ölçümü için nesnel bir metrik geliştirilebilmesi çok önemlidir.

Şimdi literatürde yer alan öznel ve nesnel derinlik algısı değerlendirme yöntemleri hakkında daha ayrıntılı bilgi verilecektir.

## 2.1. Derinlik Algısında Öznel Yöntemler

Öznel değerlendirmelerde, 3B videonun derinlik algısını belirlemek için ölçme aracı olarak insan kullanır. Öznel derinlik algısı değerlendirmesi, eğitilmiş izleyicilerin değerlendirme puanlarına bağlı olarak tespit edilen bir beğeni ölçütüdür [28]. Öznel ölçütler direkt izleyici değerlendirmelerine bağlı olarak yapıldığından en doğru ve güvenilir sonuçlardır. Öznel derinlik algısı, insan kaynaklı bir uygulama olması ve test koşullarının ayarlanması bakımından zahmetli, zaman alıcı ve maliyetli süreçtir. Bu yöntem ITU (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği: “International Telecommunication Union”) tarafından standardize edilmiştir [29]. Bu süreç için test edilecek videolar seçilir. Uygulama yapılacak ortam aydınlığı, videoların gösterileceği ekran özelliği/çözünürlüğü ve görüş uzaklığı gibi parametreler belirlenir. Test yöntemi ve teste katılacak izleyiciler seçilir. Bu seçim ve belirleme işlemlerinden sonra izleyicilere özgün video ve aynı videonun farklı parametrelerde kodlanmış olanları izletilir. Test eden kişiler kanaatlerini, izledikleri videonun hangi parametrede kodlandığını bilmeksizin belirtirler. Farklı izleyicilerin kanaatlerinin ortalaması nesnel değerlendirme sonucunu verir. Derinlik algısı testlerinde kullanılan öznel değerlendirme ölçütleri MOS (Görüş puan ortalamaları: “Mean Opinion Score”) tabanlıdır [25]. MOS, Çoklu ortam servislerine iletilmesi için kodlanan videonun algısal kalitesini 1 ila 5 (5:Çok iyi, 4:İyi, 3:Orta, 2:Zayıf, 1:Kötü) arasında seviyelendiren bir ölçüttür [30].

## 2.2. Derinlik Algısında Nesnel Yöntemler

Nesnel derinlik algısı ölçümü, bilgisayar programlarıyla elde edilen algoritmalar ile videoların matematiksel olarak ölçümünü yapan metriklerdir. Literatürde derinlik algısı ölçümü metrikleri, özgün videonun referans olarak kullanılıp kullanılmamasına bağlı olarak Tam-Referanslı (TR), Azaltılmış-Referanslı (AR) ve Referanssız olarak üçe ayrılmaktadır. TR metrikler, ölçüm yapabilmek için verici tarafında bulunan özgün video dizisine ihtiyaç duyar. AR metrikler ise VKD için özgün video dizisinden çıkarılmış öznitelikler gerektirirken Referanssız metrikler alıcı tarafta özgün video dizisine gerek duymaz. Bu nedenle, Referanssız metrikler derinlik algısı ölçümü için diğer metrik türlerine göre daha verimli ve esneklerdir [31].

2B VKD için PSNR (Peak-Signal-to-Noise-Ratio), VQM (Video Quality Metric) [32] ve SSIM (Structural Similarity Index) [38] gibi genel olarak araştırmacılar tarafından kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan TR nesnel kalite metrikleri bulunmasına karşın 3B video için aynı durum söz konusu değildir. Ayrıca, nesnel derinlik algısı değerlendirmesi için sadece birkaç çalışma literatürde bulunmaktadır. [33]. Bu nedenle araştırmacıların bir kısmı 3B video derinlik algısı değerlendirilmesi için yaygın kullanılan 2B VKD metriklerini kullanmışlardır [25].

### 2.2.1. Derinlik Algısı Ölçümü İçin Kullanılan Literatürdeki Nesnel 2B Video Kalite Ölçüm Yaklaşımları

Literatürde 2B videonun kalite ölçümüne dair araştırmacılar tarafından genel olarak kabul görmüş birçok yöntem (örneğin MSE, PSNR, VQM, DVQ, PDM, PQS, vb.) mevcuttur. Bu yöntemler özgün videoya ihtiyaç duyduklarından TR metriklerdir. Aslında 2B için geliştirilen bu yöntemleri 3B video için uyarlayıp derinlik algısı üzerine çalışan araştırmacılar mevcuttur. Bu yüzden 2B VKD için en çok kullanılan nesnel metriklerin birkaçından bahsedilecektir.

#### 2.2.1.1 MSE

MSE (“Mean Squared Error”), hata hassasiyeti temelli bir görüntü değerlendirmesidir. Özgün ve kodlanmış görüntü için ölçülür. MSE hesabı Denklem (2.1)’deki gibidir [34].

$$MSE = \frac{1}{GU} \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{U-1} \|I(i,j) - I'(i,j)\|^2 \quad (2.1)$$

Burada,  $I(i,j)$  özgün görüntünün piksel değerlerini verir.  $I'(i,j)$  ise, kodlanmış görüntünün piksel değerleridir.  $G$  ve  $U$  görüntü boyutlarıdır. MSE’nin birçok algısal anlamı olan değerden yararlanmadığı için basit ve yetersiz olduğu görülmektedir

[35]. MSE'leri aynı olan sinyallerin bozuklukları/hataları farklı çıkabilir, biri diğerinden az hatalı görülebilir [36].

### 2.2.1.2 PSNR

PSNR (Tepe Sinyal-Gürültü Oranı) metriği, MSE ve SNR (*Signal to Noise Ratio*) birlikte kanal üzerindeki bozulmamış güçlü sinyal ile fark edilebilir minimum sinyal (gürültü seviyesi) oranının ölçüsünü verir. SNR, TR metriktir. 1'e normalize edilen gürültü seviyesinin desibel değeri 0'dır. Burada bahsedilen oran sinyal ve gürültü arasındaki gücün oranıdır. PSNR'nin hesabı Denklem (2.2)'de verilmiştir [34].

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2.2)$$

Ölçeğin logaritmik olarak desibel (dB) alınması sinyallerin dinamik aralığı fazla olmasından kaynaklanır[35]. Buradaki  $MAX_I$  ifadeleri, görüntünün maksimum piksel değerleridir. 2B görüntü kalitesinin bulunması için anlamlı yaklaşımlardır [36].

### 2.2.1.3 SSIM

SSIM (Yapısal benzerlik ), iki görüntü arasındaki benzerliği ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. SSIM TR metriktir yani görüntü kalitesi ölçümü için referans olarak bir başlangıç kodlanmamış özgün görüntü kullanılır. SSIM, PSNR gibi geleneksel yöntemleri geliştirmek için tasarlanmıştır. SSIM, görüntülerde algılanan yapısal bilgi bozulmalarını dikkate almaktadır ve videonun bloklaşma, bulanıklaşma ve parlaklık kriterlerini değerlendirir [35]. SSIM'nin bir sahne yapısal bilgi çıkarma yeteneğine sahip olması, İnsan Görsel Sistemi (İGS) gerçeğine dayanmaktadır [37].

VKD için öne sürülen SSIM yöntemi, her renk kanalı için yapısal benzerlik indeksinin hesaplanması şeklinde uygulanır [38]. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen SSIM aşağıdaki Denklem (2.3) ile hesaplanır [38].

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (2.3)$$

Burada  $x = [x_i | i = 1, 2, 3, \dots, N]$  özgün sinyal ve  $y = [y_i | i = 1, 2, 3, \dots, N]$  bozulmuş sinyal olacak şekilde  $\mu_x$ ,  $x$  değerlerinin ortalaması;  $\mu_y$ ,  $y$  değerlerinin ortalaması;  $\sigma_{xy}$ ,  $x$  ve  $y$ 'nin kovaryansı;  $\sigma_x$ ,  $x$  değerinin varyansı;  $\sigma_y$ ,  $y$  değerinin varyansı;  $c_1$  ve  $c_2$  ise kontrast değerleridir. SSIM mertliği +1 ve -1 arasında değişir ve en iyi değer 1'dir ( $x_i=y_i$ ) [39] [25].

#### 2.2.1.4 VQM

Video Kalite Metriği (VQM) algılanan video kalitesi için nesnel bir ölçüm sağlamak için Telekomünikasyon Bilimleri Enstitüsü (ITS) ve Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü (ANSI) tarafından geliştirilmiştir. VQM, kaynağı insan olan öznel test sonuçlarına en yakın ölçüm yapabilen standartlaştırılmış bir yöntemdir [40]. VQM, sarsıntılı/doğal olmayan hareket, global gürültü, blok ve renk bozulması gibi video bozuklukların algısal etkilerini ölçer ve bunları tek bir metrik için birleştirir. Video Kalitesi Uzman Grubu (VQEG) doğrulama testlerindeki mükemmel sonuçlarından dolayı VQM, Amerikan firması olan ANSI ve ITU tarafından kabul görmüştür [41].

#### 2.2.2. Literatürdeki Nesnel 3B Video Derinlik Algısı Ölçüm Yaklaşımları

3B uygulamaları derinlik algısı bakımından 2B'den farklıdır. Derinlik algısı için bir stereo bakışın (sol ve sağ göz olarak) gerekliliği söz konusudur. 3B video için durum böyleyken iki tür 3B ölçüm yaklaşımı mevcuttur. Bunların ilki ayrı ayrı her bir stereo görüntü çifti için 2B video kodlama şeması kullanmak ve bakışlar arası tahminden yola çıkarak kodlama yapmak, ikincisi ise 2B görüntüyü ve onun DH'nı kodlamak ve bakışları DIBR (*Depth Image-Based Rendering*)'ye göre yeniden düzenlemektir. 3B videoda kalite değerlendirmelerin çoğu, stereo görüntü çiftleri için yürütülen çalışmalardır. Ayrıca, ölçümler arasındaki ilişkiler tartışılmıştır [25]. VQM metriğinin bir uygulaması derinlik algısı için yapılmıştır [25]. Bu çalışmada, görüntü

kalitesinin genel izleyici algısı ve derinlik algısı için VQM'in başarılı sonuç verdiği gösterilmiştir [42]. Bazı araştırmacılar, şu anda 3B videoyu değerlendirmek için PSNR kullanmasına rağmen, VQEG tarafından 2B video PSNR sınırlamaları testlerde gösterilmiştir [40]. Bu sınırlamalar, 3B video görüntü kalitesinin değerlendirilmesinde derinlik algısının olması ve PSNR derinlik algısı hakkında herhangi bir bilgi vermemesidir. Öznel değerlendirme yöntemleri yaygın [26] [27] geleneksel 2B video ve stereoskopik video algısal özelliklerini değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Sıkıştırılmamış stereoskopik görüntüler için derinlik ve algılanan görüntü kalitesi arasında pozitif bir ilişki [43] tartışılmaktadır. PSNR gibi nesnel ölçütler, yaygın 2B video kalitesini ölçmede kullanılır. Fakat 3B algısal nitelikleri ( Örneğin algılanan derinlik ) geleneksel 2B video ile karşılaştırıldığında farklıdır çünkü stereoskopik video kalitesini ölçme, 2B kalite ölçümleri kullanımı gibi kolay olmayabilir. Bununla birlikte, stereo sol ve sağ görüntülerini ayrı ayrı ölçerek 3B video kalitesi için aday bir metrik olarak kullanılabilir [25]. DH'da, derinlik seviyesi gibi insan görme sistemi ile ilgili özellikler kullanılmıştır [44]. Bu çalışmanın performansını göstermek için öznel testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucu elde edilen veriler ile öznel testlerle yapılan çalışma arasında %71 gibi doğruluk ortaya çıkmıştır. Bu sonuç iyi bir başarı olarak nitelendirilmeyebilir. DIBR yönteminde kullanılmak üzere ideal bir DH oluşturularak derinlik algısı değerlendirmesi adına TR metrik geliştirilmiştir [45]. Daha sonra oluşturulan bu DH kullanarak uzamsal aykırılık, zamansal aykırılık ve zamansal tutarsızlık gibi insan görme sistemi ile alakalı faktörlerinin ölçümüyle metrik tamamlanmıştır. Derinlik algısını değerlendirmek için Bölüm 1.2.1'de bahsedilen monoklüler ipuçlarını kullanarak referanssız bir metrik öne sürülmüştür [33]. Önerilen çalışma öznel testlerle karşılaştırılmış umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bu çalışma, fazlaca algı bağlantılı faktörün eksikliği nedeniyle daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Derinlik düzlemleri arasındaki fark ve DH nesnelere kenar bilgisi kullanılan TR model [46] ve kullanıcıların derinlik algısını değerlendirmek için İGS (İnsan görme sistemi)'nin hassaslaştığı hareket işaretinin ölçümünü modelleyen çalışmalarda [47] literatürde yer almaktadır.

### 3. ÖNERİLEN DERİNLİK ALGISI ÖLÇÜM MODELİ

Bu bölümde, zaman alıcı ve titiz öznel testler yerine geçebilecek 3B video derinlik algısını ölçen Referanssız bir metrik geliştirilmiştir. Bölüm 1.3'te 3B videonun, sol+sağ görüntü veya 2B+DH gibi çeşitli yöntemlerle elde edilebildiğinden bahsedilmişti. Var olan kodlama ve iletim teknolojileri ile uyumluluğu ve esnekliği nedeniyle 2B + DH temelli 3B video daha yaygın kullanılmaktadır [18]. Bu yüzden bu tezde derinlik algısını ölçen metriği geliştirmek için DH kullanılmıştır.

Bu metriği geliştirmek için beş farklı 2B+DH temelli 3B video kullanılmıştır. Bu 3B videoların isimleri: *Advertisement*, *Chess*, *Interview*, *Windmill* ve *Breakdance* şeklindedir. Bu 3B videoların 2B videolarının ve DH'ların anlık görüntüleri Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 3.1** (a) *Advertisement*, (b) *Chess*, (c) *Interview*, (d) *Windmill*, (e) *Breakdance* videolarının 2B video ve bağlantılı derinlik haritalarının anlık görüntüleri.





(c)



(d)



(e)

### Şekil 3.2 (Devam)

DH, Standard Definition (SD-704x576 piksel) boyutunda, 25 görüntü hızında, dört farklı bit oranında (512, 768, 1024 ve 1536 kbps) Joint Scalable Video Model (JSVM) kodek model 9.13.1 [16] kullanarak kodlanmıştır.

2B+DH temelli 3B videolarda DH'ları kullanılarak derinlik algısını ölçen Referanssız bir metrik oluşturabilmek için 3 algoritma geliştirilmiştir. İlk algoritma, videoda z yönünde ortalama ileri-geri hareketin ölçümünü yapmaktadır. İkinci algoritma, yapısal olarak DH'nın ne kadar derinlik bilgisi içerdiğinin ölçümünü yapmaktadır. Üçüncü algoritma ise videoda derinlik olarak daha belirgin hissedilebilen nesnelerin z ekseninde birbirlerine olan uzaklıklarının ölçümünü yapmaktadır. Bu bölümde ilk olarak bu üç algoritma teker teker ayrıntılı olarak

açıklanacak daha sonra bu algoritmalarından elde edilen ölçüm verileri birleştirilerek tezde önerilen metrik anlatılacaktır.

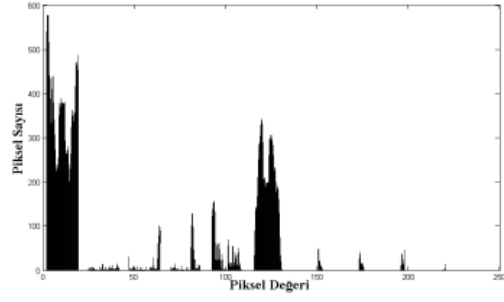
### 3.1. Z Yönünde Hareket Ölçüm Algoritması

Bu kısımda, öncelikle derinlik haritalarının görüntülerinin z yönünde hareketlerinin gözlemlenmesi daha sonra da bu gözlemler ışığında geliştirilen z yönünde hareket ölçüm algoritmasından bahsedilecektir.

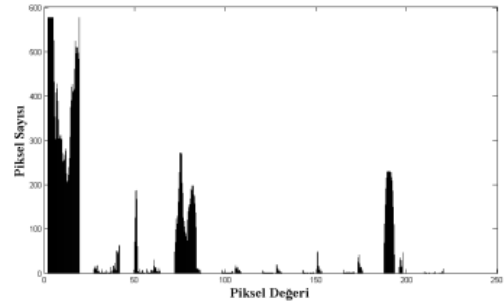
#### 3.1.1. Derinlik Haritalarının Z Yönünde Hareket Açısından İncelenmesi

Aynı veya yakın değerlikli piksellerin yoğunluğu ile oluşan derinlik düzlemlerinin nasıl değiştiğini gözlemleyebilmek için ilk olarak kodlanan derinlik haritaları görüntülerine ayrılmış her bir görüntünün histogramı çizilmiştir. Şekil 3.3'de *Advertisement* DH videosunun üç farklı görüntüsü ve o görüntülere ait histogram grafikleri görülmektedir. Şekildeki histogramlar incelendiğinde görülecektir ki görüntü#15, 200 değerlikli piksel de çok küçük bir derinlik yüzeyine sahipken görüntü#70 ve görüntü#150 de bu yüzeyler sırasıyla daha da artmaktadır. Bu gözlemlerden, *Advertisement* videosuna ekran dışından diğer cisimlerden daha yakın (255 piksel değerine daha yakınlaşan değerlerde) başka bir cismin dahil olduğu çıkarılabilir. Bu durumu video boyunca daha yakından gözlemleyebilmek için Şekil 3.4'te *Advertisement* videosunun 150 görüntüsü boyunca derinlik düzlemlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekilde belirtilen *Derinlik düzlemi 1*, Şekil 3.3'de gözlemlenebilen z derinlik ekseninde en uzakta olan siyah arka plandır. *Derinlik düzlemi 2* ise Şekil 3.3'de gözlemlenebilen koyu gri renk tonuyla yazılmış yazılardır. *Derinlik düzlemi 3* Şekil 3.3 (c)'de daha net gözükken, beyaz renk tonuyla derinlik ekseninde en öndeki içecek kutusudur. Yine Şekil 3.4' deki *Derinlik düzlemi 3* incelenirse, düzlem görüntü# 30-100 arası sağ kıvrılarak (piksel değerleri 200'den 180'e koyularak) geri hareket yapmıştır. Görüntü# 100-150 arası düzlem sola kıvrılarak (piksel değerleri 180'den 200'e çıkararak) ileri hareket yapmıştır. Bu bilgiler ışığında, Şekil 3.4'te resmedilen derinlik düzlemlerindeki kıvrımlar bize o düzlemdeki cisimlerin z eksenindeki hareket bilgileri hakkında bilgi verir yargısına

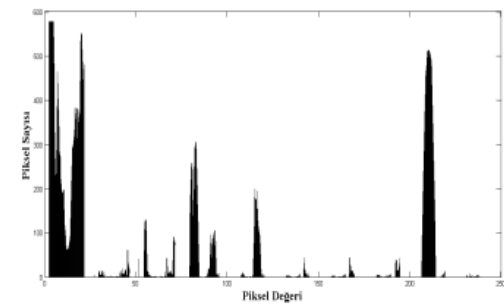
ulaşılabilir. Ayrıca z ekseninde hareket, alınan referans noktasına göre ileri yönlü (yakınlaşma) ve geri yönlü (uzaklaşma) olarak iki tür hareket yoluyla meydana gelebilir. Bu çalışmada, derinlik haritalarında koyu renge dönüşen (0 piksel değerine yaklaşan) piksel değerleri geri hareket, açık renge dönüşen (255 piksel değerine yaklaşan) piksel değerleri ise ileri hareket olarak tanımlanmıştır.



(a)

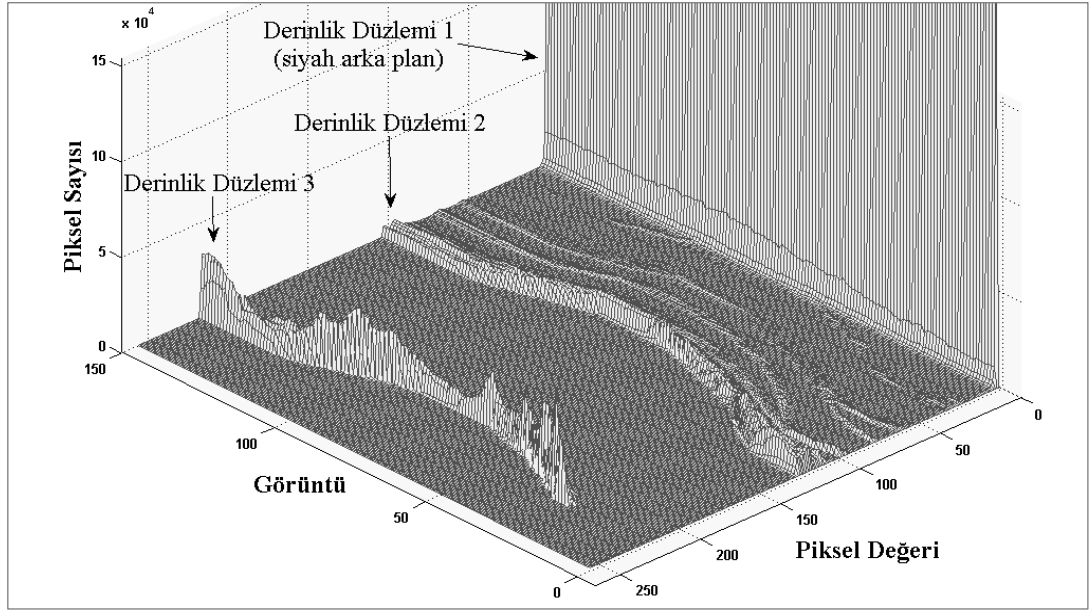


(b)



(c)

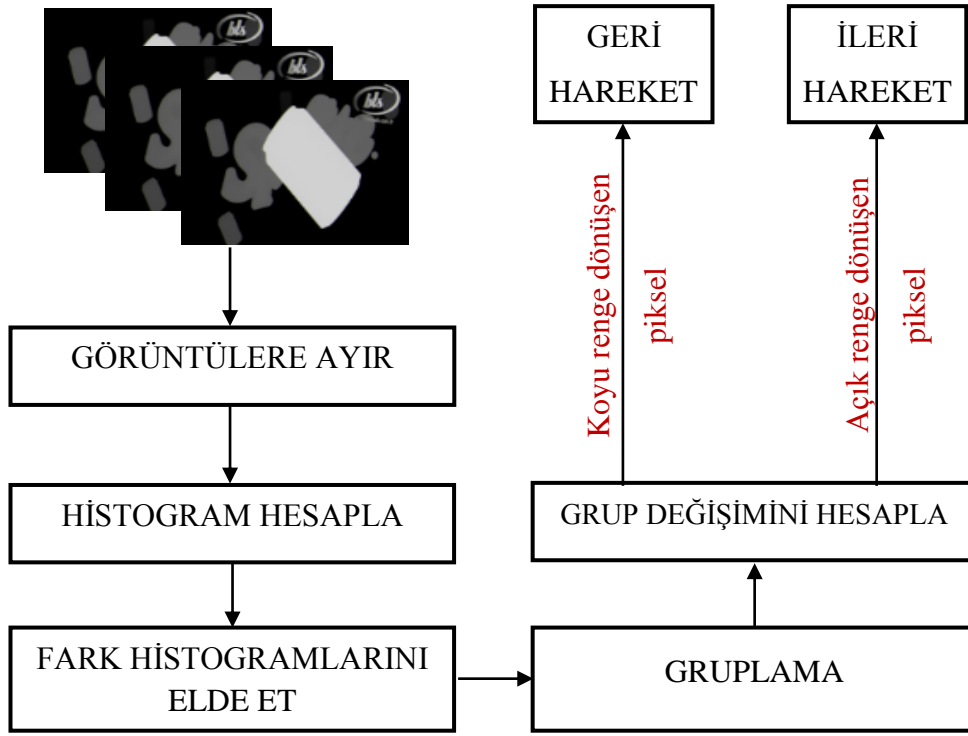
**Şekil 3.3** Advertisement videosunun çeşitli görüntüleri ve onlara ait histogram grafikleri: (a) görüntü#15 (b) görüntü#70, (c) görüntü#150



**Şekil 3.4** Advertisement videosuna ait histogram grafiklerinin video boyunca değişimi.

### 3.1.2. İleri-Geri Z Yönünde Hareket Değişiminin Ölçümü

Bölüm 3.1.1’ deki bilgiler ışığında kodlanmış DH’larındaki obje ve elementlerin ileri-geri z ekseninde hareketlerinin ölçülebilmesi için Şekil 3.5’te gösterilen blok diyagramı tasarlanmıştır.



Şekil 3.5 Z yönünde hareket değişimi.

Şekil 3.5'teki blok diyagramında da gözlemlendiği gibi DH görüntülerine ayrıldıktan sonra her bir görüntünün histogramı çizilmiştir. Daha sonra her bir piksel değeri için, o anki görüntünün piksel değerleri toplamı bir sonraki görüntünün piksel değerleri toplamından çıkarılmış, bu işlem tüm piksel değerleri için ve tüm video boyunca uygulanmış ve fark histogram verileri elde edilmiştir. Bu işlem aşağıdaki matematiksel ifade de belirtilmektedir.

$$F_{fark} = \sum_{i=0}^{255} \sum_{j=2}^n a_{i,j} - a_{i,j-1} \quad (3.1)$$

Burada  $F_{fark}$  fark histogram değeri,  $n$  videodaki toplam görüntü sayısı,  $i$  DH'daki piksel değerleri,  $j$  videodaki görüntü sayısı,  $a$  her bir piksel değerinin toplam sayısıdır.  $F_{fark}$  + veya - değerlere sahip olabilir.  $F_{fark}$  hesaplandıktan sonra, 0 dan 255' e kadar artarak devam eden her bir piksel değeri için +  $F_{fark}$  değerleri -  $F_{fark}$  değerlerine gelinceye kadar ve -  $F_{fark}$  değerleri +  $F_{fark}$  değerlerine gelinceye kadar kendi aralarında toplanarak gruplanmıştır. Sıfır değerleri gruba dahil edilmez. Bir

video boyunca gruplar,  $m$  grup sayısını göstermek üzere,  $T(m)$  olarak tanımlanmıştır. Ayrıca  $c$  toplam grup sayısını ifade etmek üzere  $1 \leq m \leq c$ ,  $m \in \mathbb{Z}^+$  olacak şekilde tanımlanır. Gruplanmanın ne şekilde gerçekleştiğini daha ayrıntılı ifade etmek için Şekil 3.6’te *Chess* videosuna ait görüntü#5 ve görüntü#4 arasındaki ilk 12 piksele ait  $F_{fark}$  değerlerinin gruplanması resmedilmiştir.

Piksel Değerleri	$F_{fark}$ Değerleri	Gruplar
0	58	} T(1) = 103
1	45	
2	-37	} T(2) = -37
3	19	} T(3) = 657
4	367	
5	168	
6	103	} T(4) = -168
7	-168	
8	217	} T(5) = 947
9	730	
10	-460	} T(6) = -736
11	-15	
12	-261	

**Şekil 3.6** *Chess* videosuna ait görüntü#5 ve #4  $F_{fark}$  değerleri için gruplama örneği.

Şekil 3.5’deki blok diyagramında da gözlemlendiği gibi  $F_{fark}$  değerlerinin gruplanmasından sonra z-derinlik ekseninde ileri-geri hareket değişim ölçümü yapabilmek için piksel değerlerinin gruplar boyunca değişiminin hesaplanması gerekmektedir. Öncelikle bu değişimin iki görüntü arasında hesaplanması için “ $k_m$ ” tanımlanmıştır. “ $k$ ” şimdiki grup değeri ile bir önceki grup değerlerinin farkını oluşturan + veya – değerlerdir ve artan/azalan piksel değerlerinin açık/koyu piksel değerine dönüştüğü bilgisini taşımaktadır. Denklem (3.2)’de  $k_m$ ’nin hesabı verilmiştir.

$$k_m = \begin{cases} T(m); & m = 1 \\ k_{m-1} + T(m); & m > 1 \end{cases} \quad (3.2)$$

$k_m$  değerleri bulunduktan sonra, ileri-geri z yönünde hareketin hesaplanabilmesi için:  $k_{m-1} \times T(m) \geq 0$  ise değişim gerçekleşmeyeceğinden z yönünde hareketin olmayacağı, ancak  $k_{m-1} \times T(m) < 0$  ise z yönünde ileri-geri derinlik değişimi olacağı kavramları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu değişimin ileri-geri ve hangi değerde olduğu (3.2)'de hesaplanan  $k_m$  değerlerini ve  $T(m)$ 'yi kullanarak aşağıdaki denklemler (3.3) ve (3.4) ile hesaplanmaktadır.

$k_m > 0$  ise pikseller açık renge dönüşerek ileri hareket meydana gelmiştir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$ileri(m) = \begin{cases} k_{m-1}; & k_{m-1} < |T(m)| \\ |T(m)|; & k_{m-1} \geq |T(m)| \end{cases} \quad (3.3)$$

$k_m < 0$  ise pikseller koyu renge dönüşerek geri hareket meydana gelmiştir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$geri(m) = \begin{cases} |k_{m-1}|; & |k_{m-1}| < T(m) \\ T(m); & |k_{m-1}| \geq T(m) \end{cases} \quad (3.4)$$

Denklem (3.3)'deki  $ileri(m)$  fonksiyon değerlerinin görüntüler boyunca toplamı videodaki z-derinlik ekseninde ileri yönde derinlik değişimi değerini verecektir. Aynı şekilde denklem (3.4)'deki  $geri(m)$  fonksiyon değerlerinin toplamı videodaki z-derinlik ekseninde geri yönde derinlik değişimi değerini verecektir. Şöyle ki;

$$\dot{I}_v = \sum_{m=1}^c ileri(m) \quad , \quad G_v = \sum_{m=1}^c geri(m) \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)' i kullanarak bir videonun ortalama ileri-geri hareket değişimi şu şekilde hesaplanabilir;

$$\dot{I}_{ort} = \frac{\dot{I}_v}{n-1} \quad G_{ort} = \frac{G_v}{n-1} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)' da elde ettiğimiz ortalama ileri ve geri hareketin mutlak değerlerinin toplamı videonun z yönünde toplam ortalama hareketini verecektir. Şöyle ki:

$$ZH = \dot{I}_{ort} + |G_{ort}| \quad (3.7)$$

Burada  $ZH$ , z yönünde hareketin ortalama değeridir ve DH videosunda nesnelerin ne kadar z yönünde hareket ettiğinin piksel sayısı olarak ölçümünü verir. Videoyu oluşturan piksel sayıları video çözünürlüğüne göre değişebileceğinden veya başka bir ifadeyle videoların uzamsal çözünürlükleri farklı olabileceğinden dolayı bu toplamın normalize edilmesi gerekir. Bu açıklama ışığında herhangi bir  $ZH$ 'ın normalize değeri Denklem (3.8) kullanılarak hesaplanır.

$$ZYH = \frac{ZH}{G \times U} \times 100 \quad (3.8)$$

Burada  $ZYH$ , DH'nın z yönünde ortalama hareketinin normalize değeridir;  $G$ , videonun genişliği ve  $U$ , videonun uzunluğudur.  $ZYH$  değeri, ortalama bir videoda yüzde olarak piksel sayısıdır ve z yönünde hareketin büyüklüğünü temsil eder.

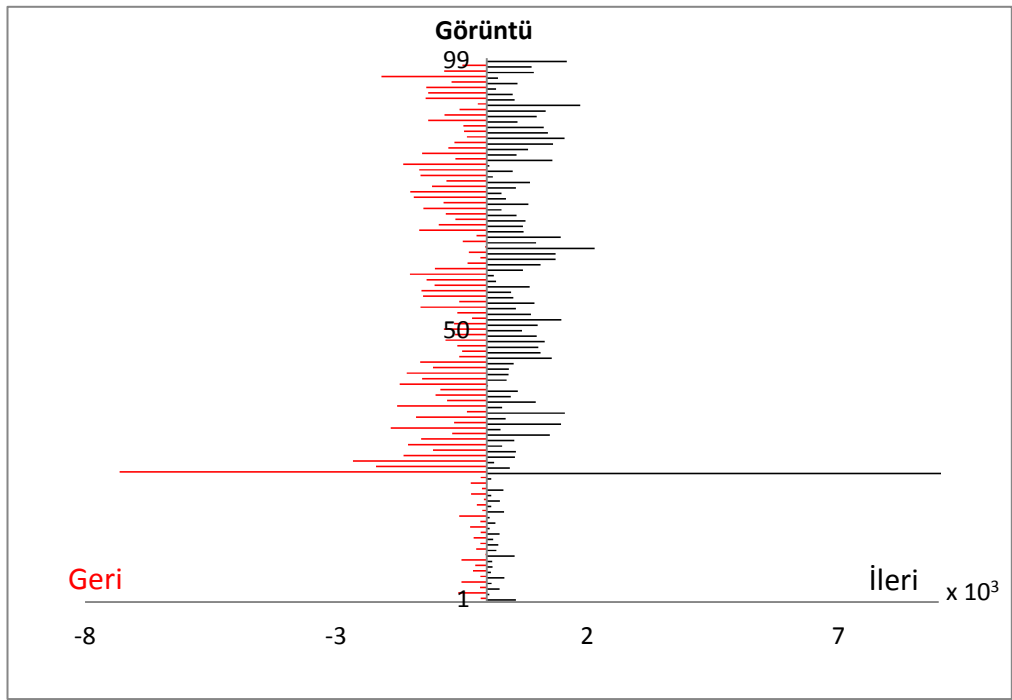
### 3.1.3. Z Yönünde Hareket Sonuçları

Tasarlanan ileri-geri z yönünde hareketin ölçüm algoritması, farklı bit oranlarında kodlanmış beş video (*Windmill*, *Interview*, *Breakdance*, *Chess* ve *Advertisement*) için uygulanmıştır. Videoların kodlanması Bölüm 3.1.1'de bahsedildiği şekilde yapılmıştır. Denklem (3.5) kullanarak Şekil 3.9'da gösterilen grafikler elde edilmiştir. Şekil 3.9'daki grafikleri incelediğimizde, *Advertisement* videosundaki yazılar ve ekrana sonradan dahil olan içecek kutusu, önce ileri sonra geri hareket yapmaktadır. Bu nedenle Şekil 3.9 (a)'daki video boyunca, görüntülerdeki derinlik hareketlerinin sırasıyla: ileri, geri, ileri olduğu gözlemlenebilmektedir. Cisimlerin sabit, kameranın hareketli olduğu *Chess* videosunda geri hareket az, ileri hareket çoğunluktadır. Dans eden kişinin (t-boy) kendi etrafında dönerek sürekli ileri-geri hareket yapmakta olduğu *Breakdance* videosunda ise ileri-geri hareket hemen hemen eşit çıkmıştır ve x eksenine simetrik, ileri-geri değişim olduğu grafikten



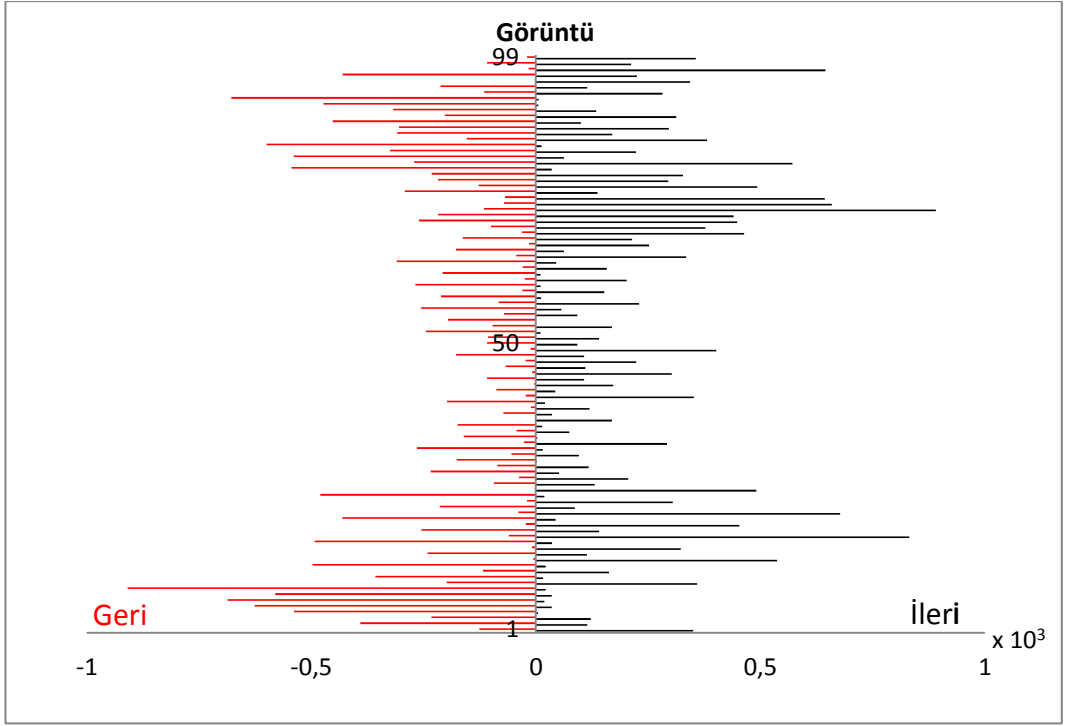
görülebilmektedir. *Windmill* videosunda değirmen belirli ekseninde döndüğü için *Breakdance* videosundaki derinlik hareketine benzer ileri-geri hareket yapmıştır. Şekil 3.10'de ortalama ileri-geri hareket değişimlerinin sayısal verileri halinde ifade edildiği grafik yer almaktadır. Denklem (3.6) kullanılarak elde edilen Şekil 3.10'deki grafik, farklı tarzdaki videoların derinlik hareketinin karşılaştırılması amacıyla aynı bit oranında (1536 kbps) kodlanan videolardan oluşmaktadır. Şekil 3.10 incelendiğinde en çok derinlik değişimi olan videonun *Breakdance* ve en az derinlik değişimi olan videonun ise *Interview* olduğu anlaşılmaktadır.

Geliştirilen bu çalışma sayesinde, farklı tarzda videoların ortalama derinlik değişimi ölçülerek derinlik değişimi yönünden hareketli veya durgun olduğu tespit edilebilir, kamera/cisim hareketi sonucu oluşan derinlik değişimleri hesaplanabilir ve videolar derinlik türlerine göre verimli bir şekilde sınıflandırılabilir.

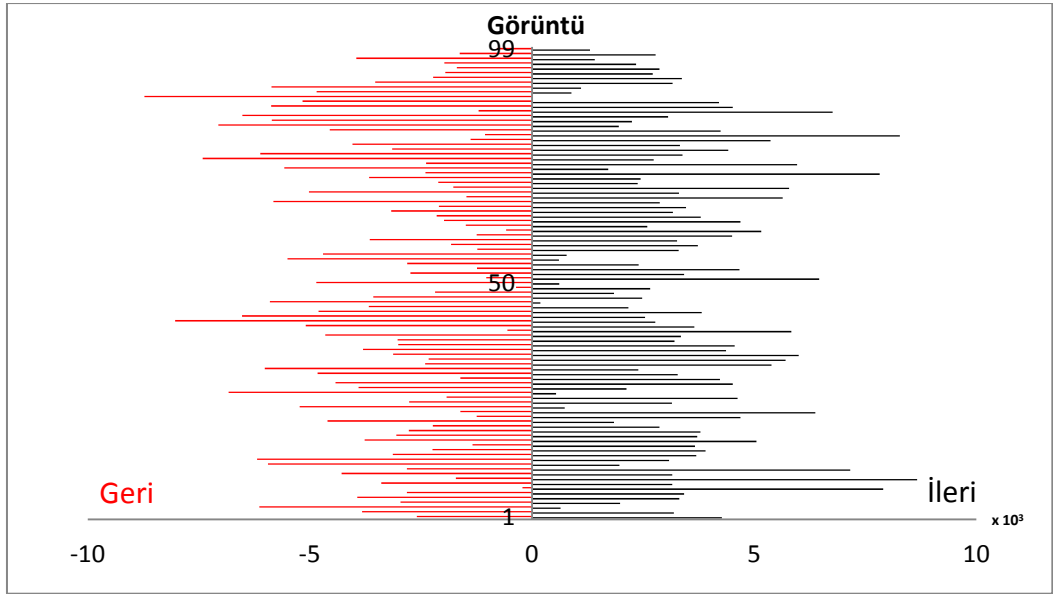


(a)

**Şekil 3.7** (a)*Windmill*, (b)*Interview*, (c)*Breakdance*, (d)*Chess*, (e)*Advertisement* video görüntülerinin ileri-geri derinlik değişimi.

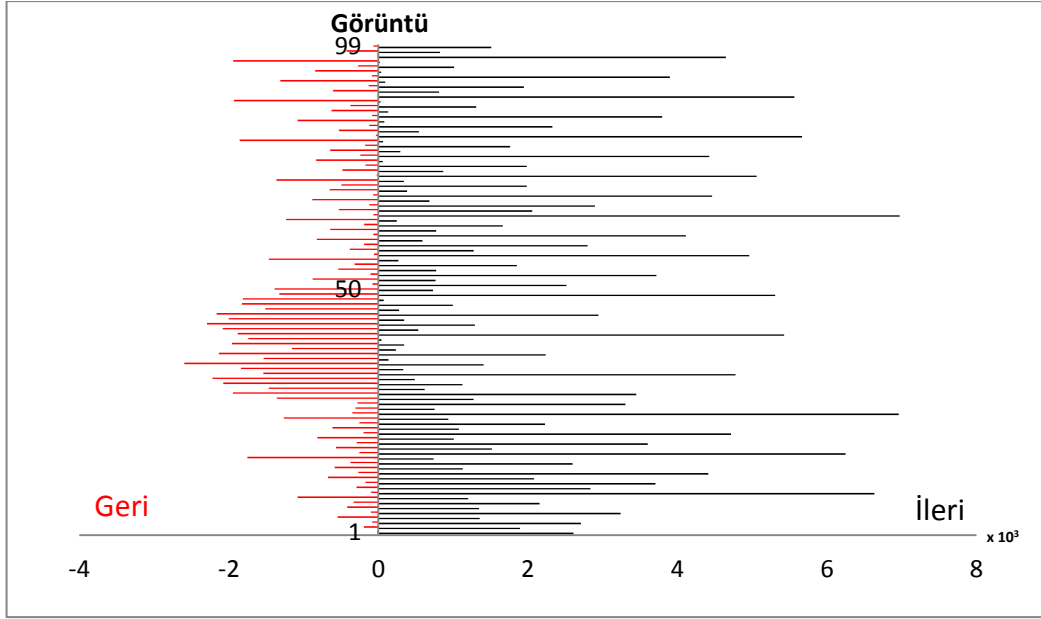


(b)

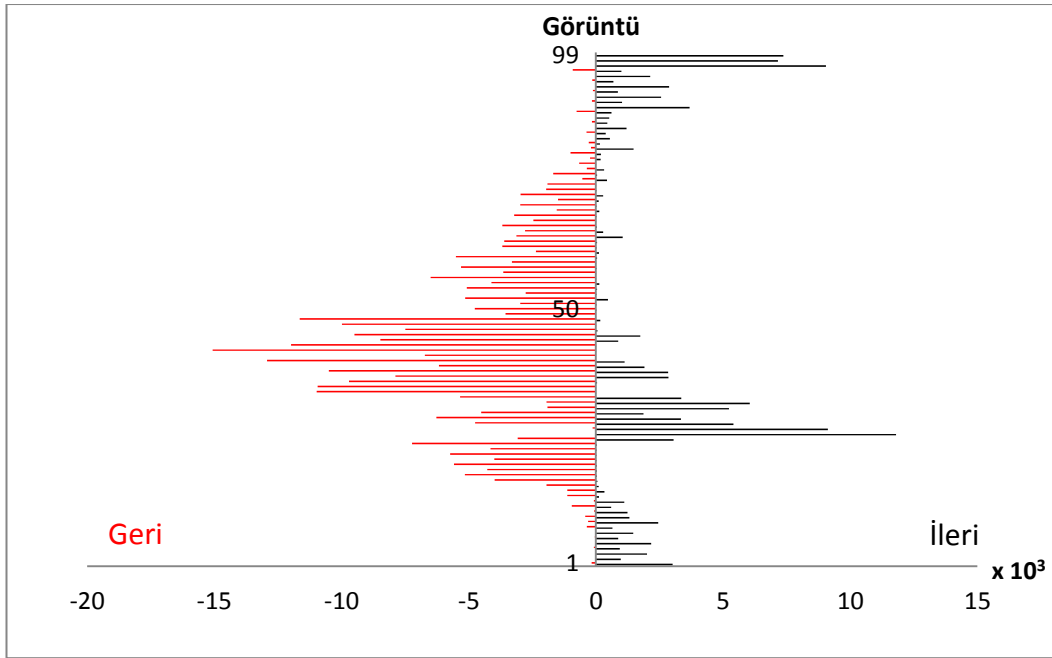


(c)

Şekil 3.8 (Devam)

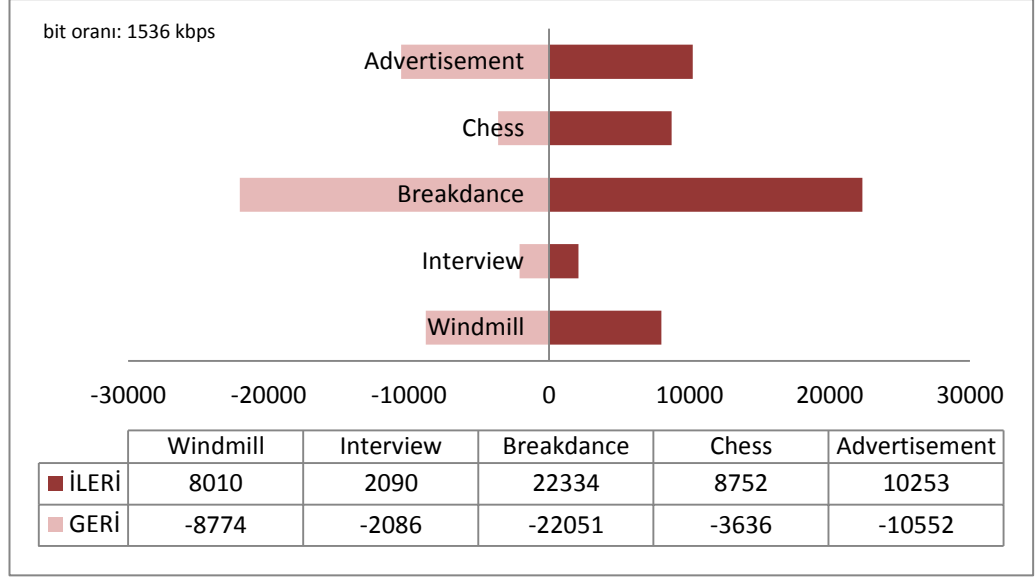


(d)



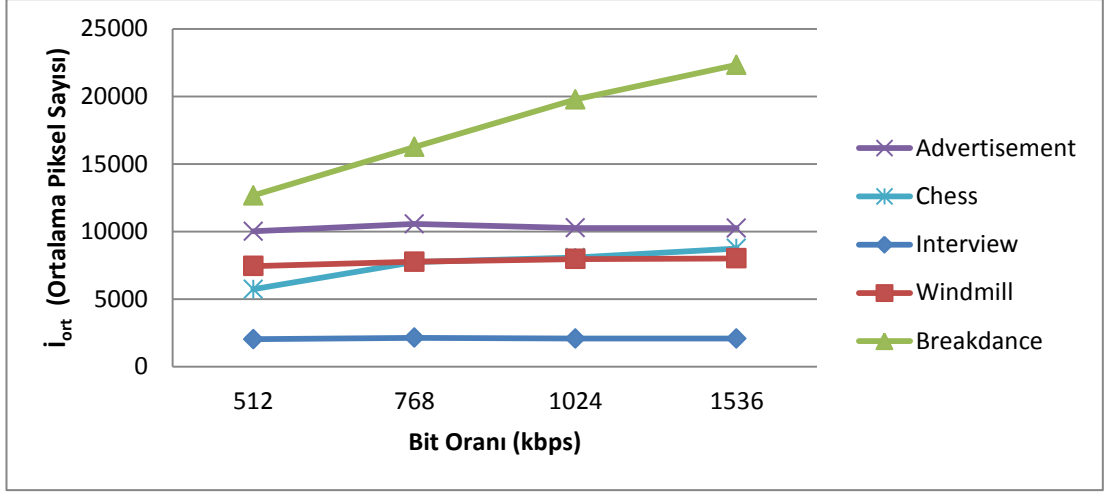
(e)

Şekil 3.9 (Devam)

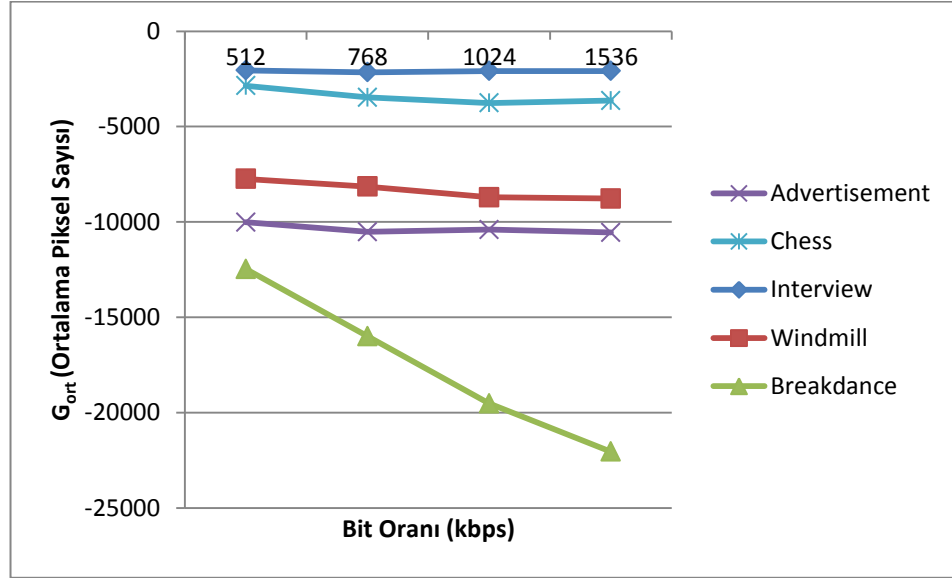


**Şekil 3.10** *Windmill, Interview, Breakdance, Chess ve Advertisement* videolarının ortalama ileri-geri hareket değişimi.

Şekil 3.11’de DH kodlamasının, z yönünde derinlik hareketine olan etkisi görülmektedir. Bit oranlarındaki düşüş genel olarak derinlik hareketini de azaltmıştır. Aynı video için kodlama parametresi, ileri ve geri hareket için benzer oranlarda etki gösterirken farklı tarzdaki videolar için bu durum söz konusu değildir. Örneğin Şekil 3.11’de *Breakdance* videosunun kodlama bit oranları arttıkça ileri ve geri hareket diğer video çeşitlerine nazaran daha çok artmıştır. Anlaşıyor ki video kodlamalarından kaynaklanan bilgi kayıpları DH’ları için video yapısına göre değişebilmektedir.



(a)

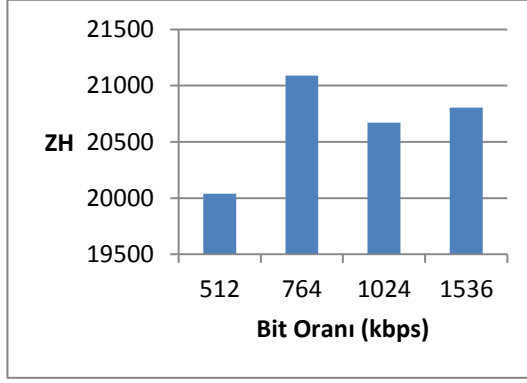


(b)

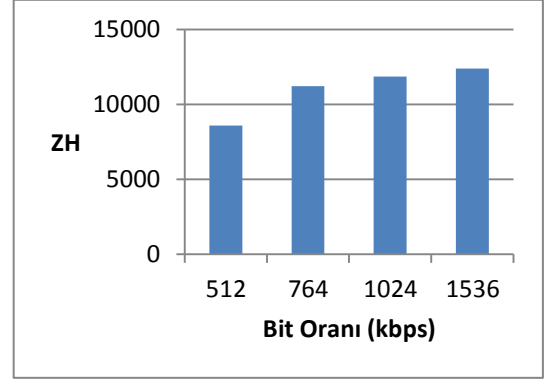
**Şekil 3.11** Farklı bit oranlarında kodlanan *Advertisement*, *Chess*, *Windmill*, *Interview* ve *Breakdance* videolarının ortalama (a) İleri hareket (b)Geri hareket değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'deki grafiklerde verilen toplam derinlik hareketi ise formül (3.7) kullanılarak elde edilmiş ve video kodlamada bit oranının toplam derinlik hareketine etkisi incelenmiştir. Şekil 3.12'da Beş farklı video için ayrı ayrı çizilen grafikler incelendiğinde bit oranının azalması (*Advertisement* ve *Interview* videolarında 764 kbps hariç) derinlik hareketinin de azalmasına yol açmıştır. Şekil

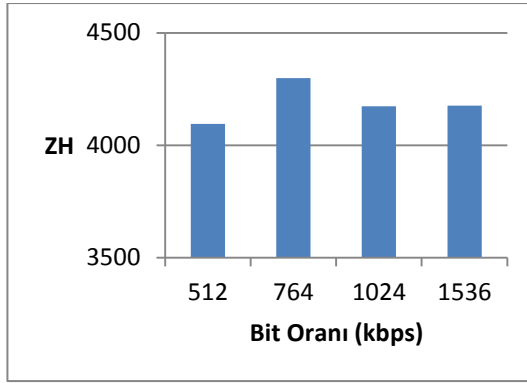
3.13’da ise farklı tarzda videoların farklı bit oranlarında kodlandıklarında toplam derinlik hareketi bakımından nasıl etkilendikleri karşılaştırılmıştır.



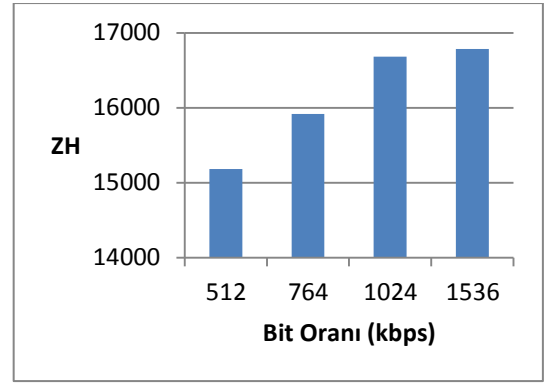
(a)



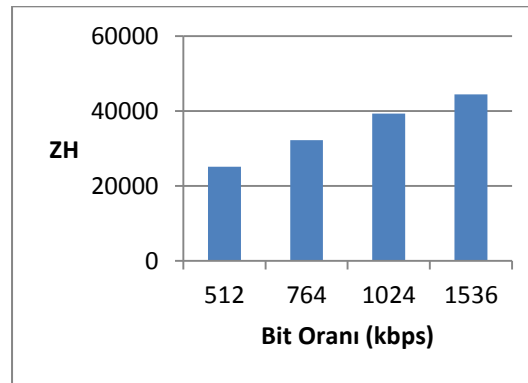
(b)



(c)

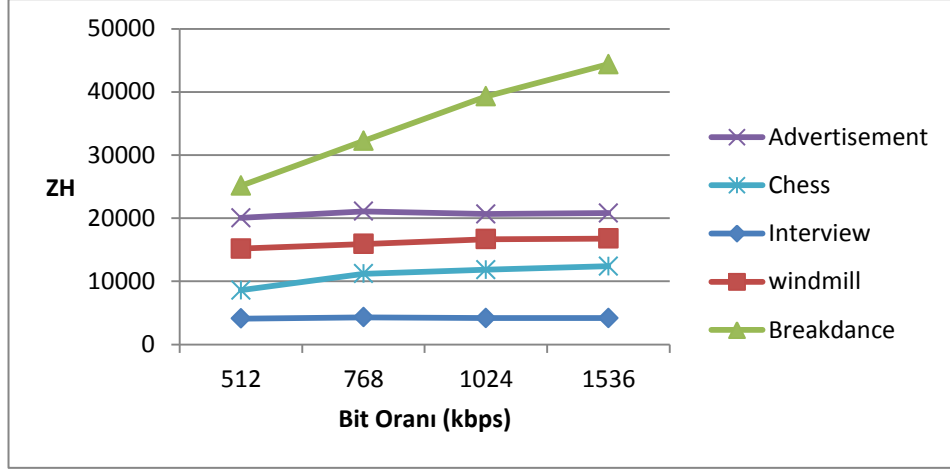


(d)



(e)

**Şekil 3.12** Farklı bit oranlarında kodlanan (a)*Advertisement*, (b)*Chess*, (c)*Interview*, (d)*Windmill*, (e)*Breakdance* videoların z yönünde toplam hareket değişimi.



**Şekil 3.13** Farklı bit oranlarında kodlanan *Advertisement*, *Chess*, *Windmill*, *Interview* ve *Breakdance* videolarının z yönünde toplam hareket değerlerinin karşılaştırılması.

### 3.2. Yapısal Ortalama Derinlik (YOD)

Bu bölümde yapısal olarak DH'nın ne kadar derinlik bilgisi içerdiği hesaplanacaktır. Videolar yapısal olarak birbirlerinden farklıdırlar. Bu farklılığın neticesinde DH'ları farklı derinlik bilgisi içermektedir. DH'larından derinlik bilgisini ölçebilmek için ilk olarak DH'ları yapısal olarak incelenmiş ve son olarak ta YOD ölçüm algoritması tasarlanmıştır.

#### 3.2.1. DH'larının Yapısal Olarak İncelenmesi

Bölüm 3.1'de DH'larının z derinlik ekseninde ne kadar hareketli veya durgun olduğunun ölçümü, DH'larındaki piksel değerlerinin değişiminin sayısı ile gerçekleştirilmişti. Bu bölümde ise derinlik hareketinden bağımsız olarak DH'larının sahip olduğu derinlik bilgisini yine farklı değerlikli piksel sayılarını kullanarak hesaplanacaktır. Şöyle ki piksellerde renk değişimi olmasa (z yönünde hareket olmasa) dahi DH'larında farklı değerlikli piksellerin sayıları farklı derinlikleri temsil ettiğinden bir derinlik bilgisine sahiptir. Yani videolar, derinlik hareketinden bağımsız olarak derinlik bilgisi içermektedir. Sonuçta her 3B video kendi yapısına göre derinlik algısına sahiptir. Ancak videodaki farklı derinliklerde bulunan

cisimlerin boyutları göze hitap eden derinlik hissini etkileyecektir [48]. Örnek verecek olursak Şekil 3.2’de görüldüğü gibi *Interview* videosunda iki kişinin yakın çekimi ekranın yaklaşık yarısını kaplarken *Breakdance* videosunda ise beş kişi boydan boya çekildiği için daha küçük boyutlardadır. Ayrıca *Interview* videosunun DH’sını incelediğimizde (Şekil 3.2-c) siyah piksellerin sayısı uzak bilgisini barındırır ve *Breakdance* videosunda bu sayı *Interview* videosuna göre azdır. Yani *Interview*, *Breakdance* videosuna göre yapısal olarak daha fazla derinliğe sahiptir. Halbuki Bölüm 3.1’de bulduğumuz sonuçlarda *Interview* videosunda derinlik hareketi *Breakdance* videosuna göre azdı. Demek ki z yönünde hareketten bağımsız olarak videonun yapısal olarak içerdiği derinlik bilgisi derinlik algısı kalitesinin ölçümü adına bir etkidir. Şimdi YOD hesabının nasıl yapıldığı Bölüm 3.2.2’de anlatılacaktır.

### 3.2.2. YOD Ölçümü

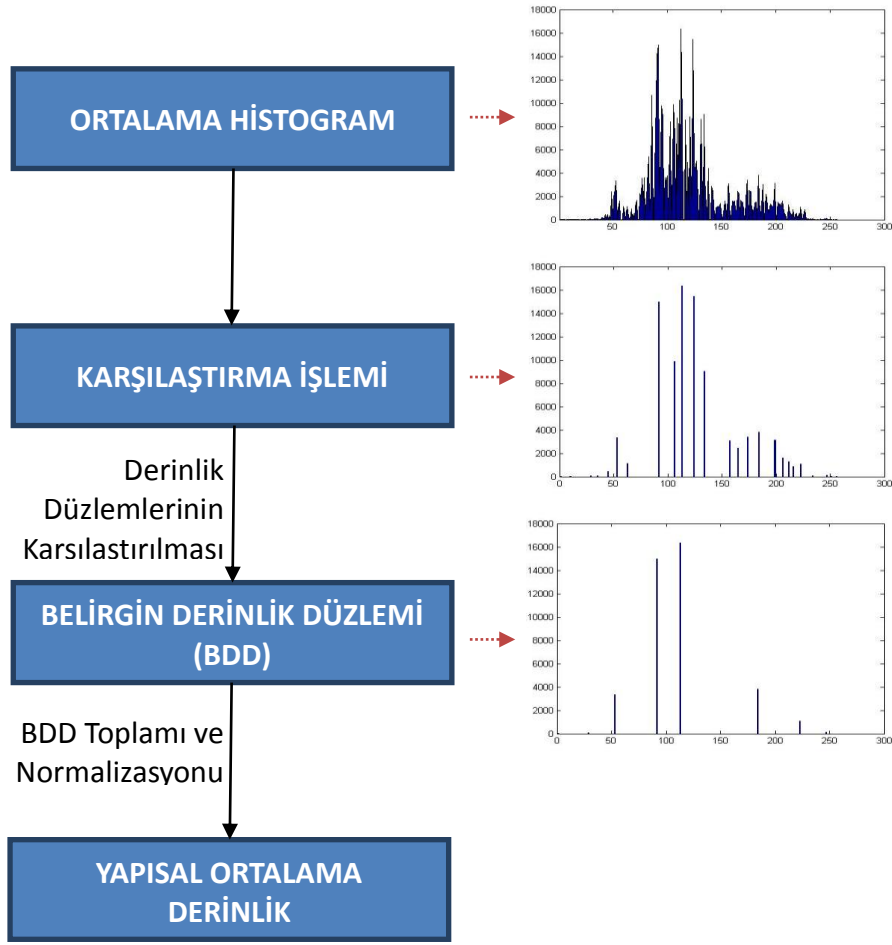
DH’larındaki obje ve elementlerin z ekseninde bulunduğu konuma bağlı olarak içerdiği derinlik bilgisinin ölçülebilmesi için Şekil 3.14’deki blok diyagram tasarlanmıştır.

Şekildeki blok diyagramda gözlemlendiği gibi Bölüm 3.2’de bulunan her bir görüntüye ait histogramlar toplanarak görüntü sayısına bölünüp ortalama histogram elde edilmiştir. Bu işlemin matematiksel ifadesi Denklem (3.9)’da belirtilmektedir.

$$H_i = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{255} \sum_{j=1}^n a_{i,j} \quad (3.9)$$

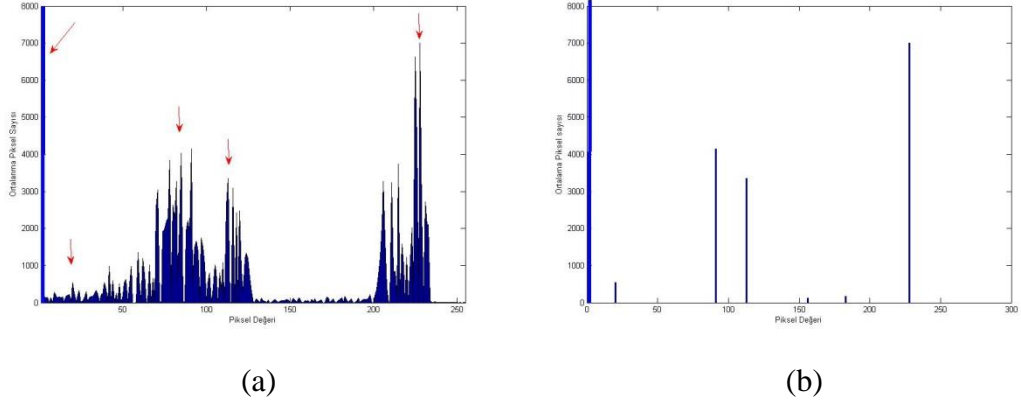
Burada  $H_i$  , ortalama histogram değeri;  $n$ , videodaki toplam görüntü sayısı;  $i$ , DH’daki piksel değerleri;  $j$ , videodaki görüntü sayısı;  $a$ , her bir piksel değerinin toplam sayısıdır.





**Şekil 3.14** Yapısal Ortalama Derinlik Ölçümü

BDD'ni daha iyi anlamak için *Advertisement* videosundan örnek verebiliriz. Daha önce Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te *Advertisement* videosunun derinlik düzlemlerinden bahsedilmişti. Bahsedilen bu düzlemler içecek kutusu, yazılar ve arka plandan oluşmaktaydı. BDD, bu derinlik düzlemlerini temsil eden piksel değerinden en belirgin olanıdır. Yani içecek kutusunun derinliğini temsil eden 180-200 değerlikte piksellere ait piksel sayılarından en fazlası BDD'dir. Aynı şekilde *Advertisement* videosunda yazıların ve siyah arka planın oluşturduğu düzlemleri temsil eden piksellere ait piksel sayılarından en fazlası BDD'lerdir. Şekil 3.15 (a)'da *Advertisement* videosunun ortalama histogramı görülmektedir. Histogram üzerine BDD olabilecek tepe noktaları ok ile işaretlenmiştir. Şekil 3.15 (a)'daki ok ile gösterdiğimiz pikseller birazdan bahsedeceğimiz matematiksel işlemle Şekil 3.15 (b)'deki BDD'ler elde edilmiştir.



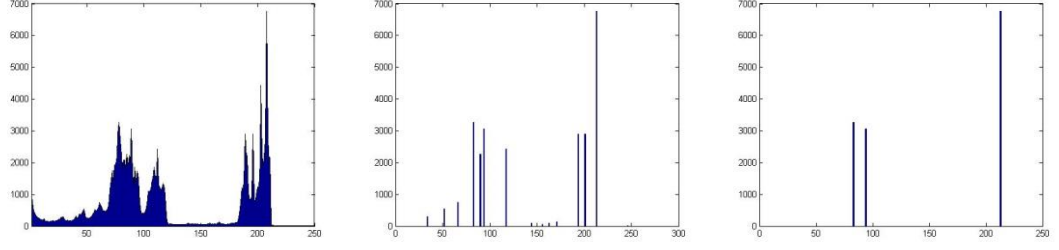
**Şekil 3.15** Advertisement videosunun (a)Ortalama Histogramı (b)BDD görülmektedir.

Karşılaştırma işlemi, ortalama histograma ait piksel sayılarının, önceki ve sonraki piksel sayılarıyla karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırma işlemi sonucu BDD'lerin nasıl elde edildiğinin matematiksel ifadesi Denklem (3.10)' da belirtildiği gibidir.

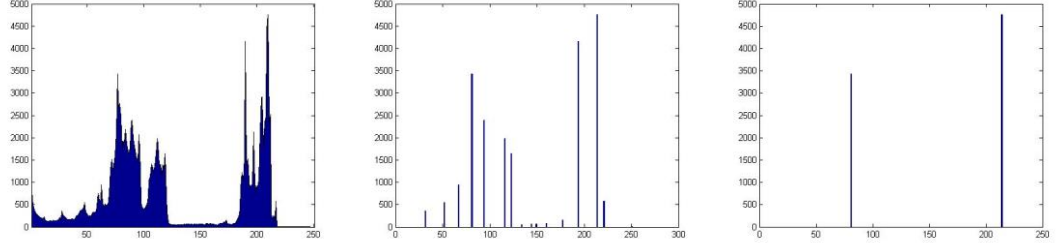
$$\varphi BDD_i = \begin{cases} H_0, & i = 0 \wedge H_i > H_{i+1} \\ H_i, & 255 > i > 0 \wedge H_{i-1} > H_i > H_{i+1} \\ H_{255}, & i = 255 \wedge H_i > H_{1-1} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.10)$$

Burada  $\varphi BDD_i$  belirgin derinlik düzlemleri;  $\varphi$ , BDD'nin Denklem (3.10)'a kaç defa tabi tutulduğunun sayısı;  $i$ ,  $0 < i < 255$  ve  $i \in Z^+$  olacak şekilde 0'dan 255'e artan piksel değerleridir.

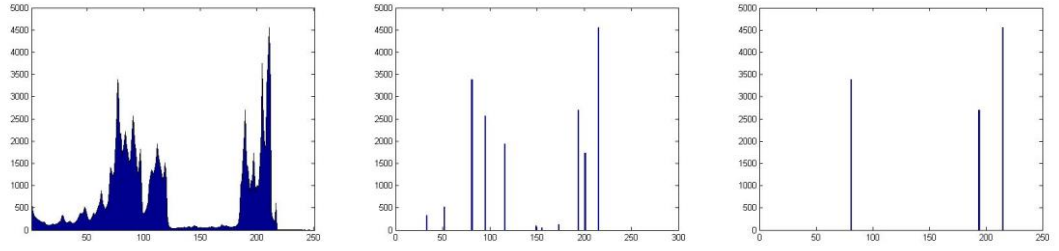
Yapılan denemeler sonucunda, bu karşılaştırma işleminin üç defa tekrarlanmasının ( $\varphi = 3$ ), elde etmek istediğimiz en ideal sonucu verdiği görülmüştür. Şöyle ki DH'larına ait ortalama histogramlar Denklem (3.10)'a ikinci ( $\varphi = 2$ ) ve üçüncü ( $\varphi = 3$ ) defa tabi tutulduklarında elde edilen  $_2BDD$  ve  $_3BDD$  sonuçları Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de sırasıyla *Advertisement*, *Chess*, *Windmill*, *Interview* ve *Breakdance* videoları için görülmektedir. Şekillerde de görüldüğü gibi en belirgin düzlemler  $_3BDD$  ( $\varphi = 3$ ) için elde edilmiştir. Bundan dolayı karşılaştırma işleminin üç defa yapılmasına karar verilmiştir. Bundan sonraki algoritmalarda kullanılacak BDD değerleri  $\varphi = 3$  için olan hesaplamalardır.



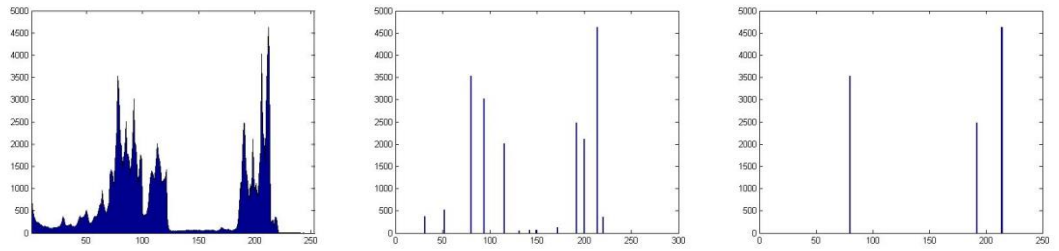
(a)



(b)

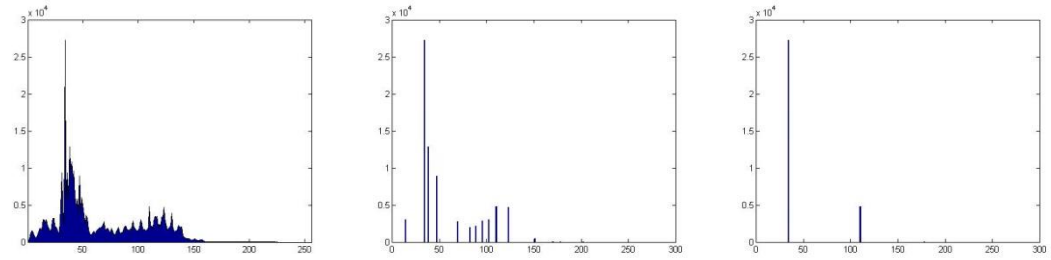


(c)

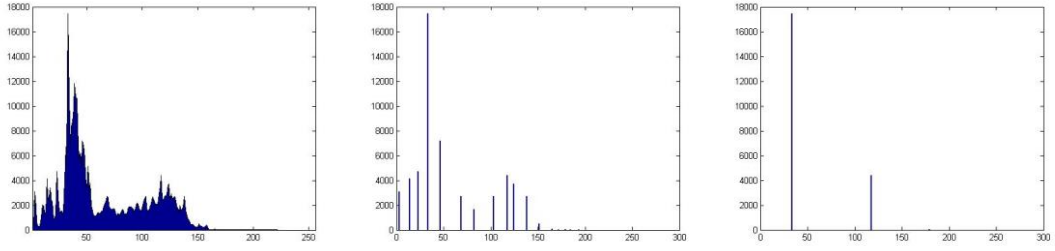


(d)

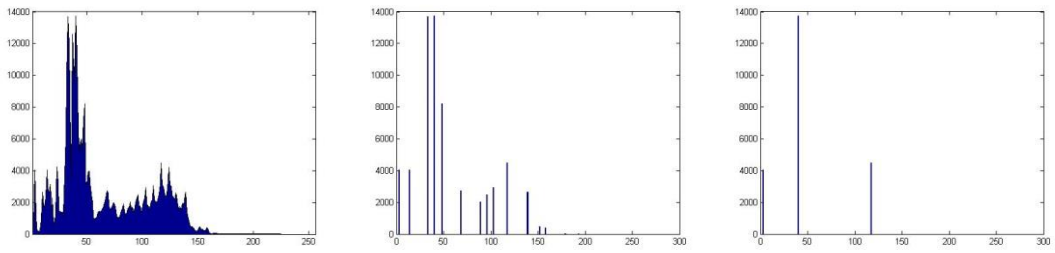
**Şekil 3.16** (a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan *Advertisement* DH'nın sırasıyla ortalama histogram,  $_2$ BDD ve  $_3$ BDD grafikleri.



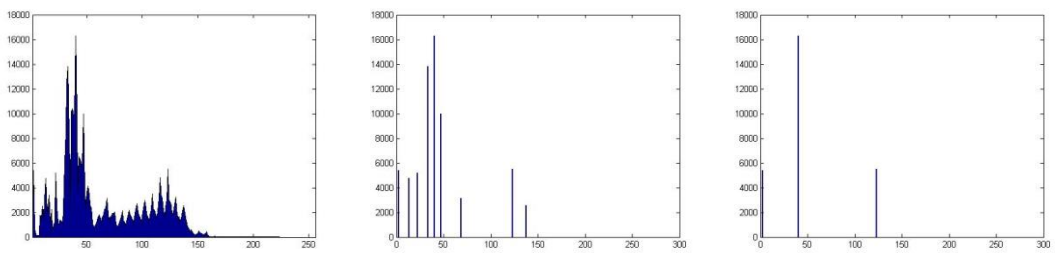
(a)



(b)

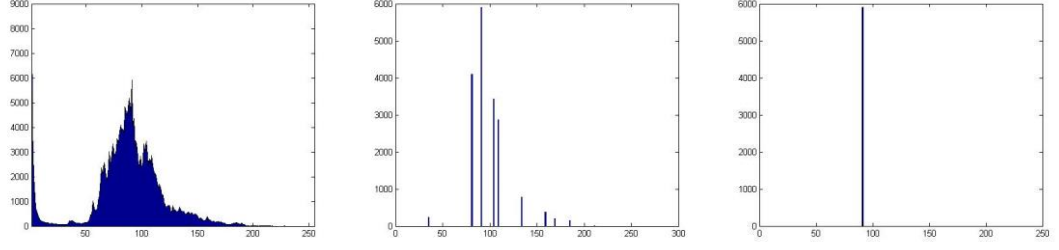


(c)

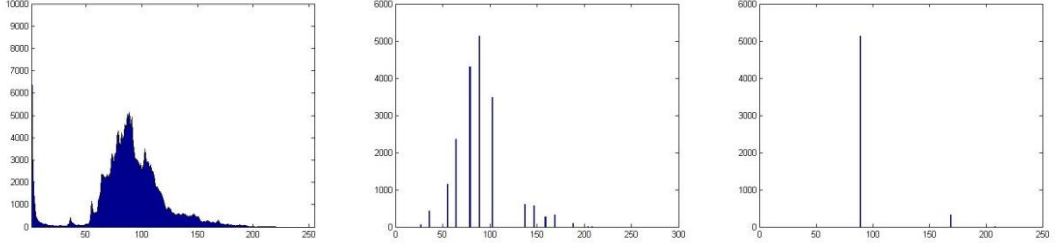


(d)

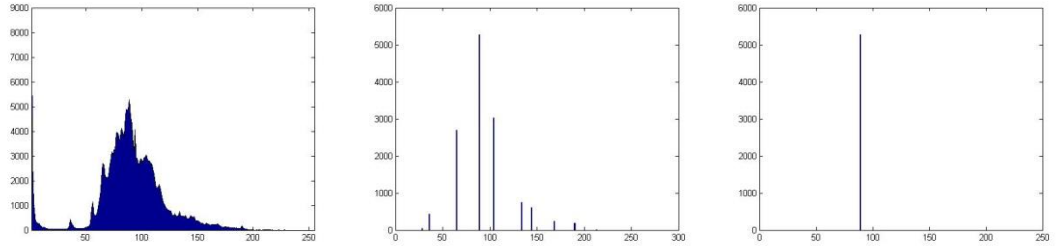
**Şekil 3.17** (a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan *Chess* DH'nın sırasıyla ortalama histogram,  $_2$ BDD ve  $_3$ BDD grafikleri.



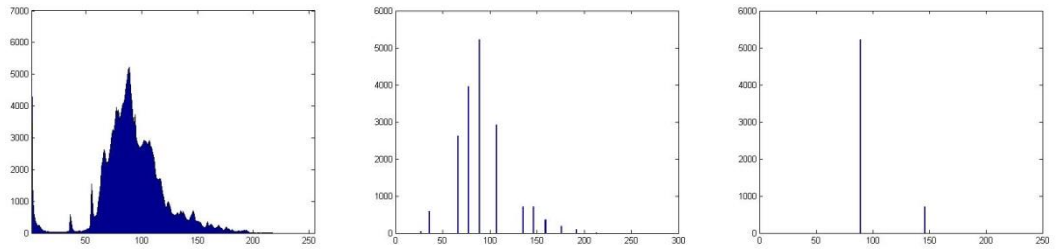
(a)



(b)

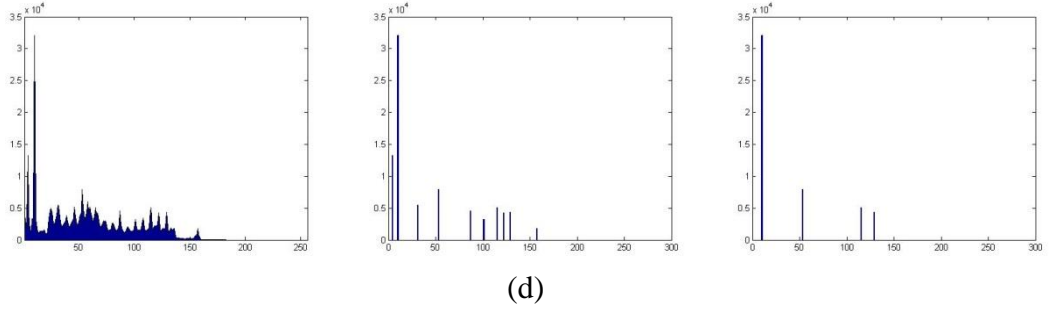
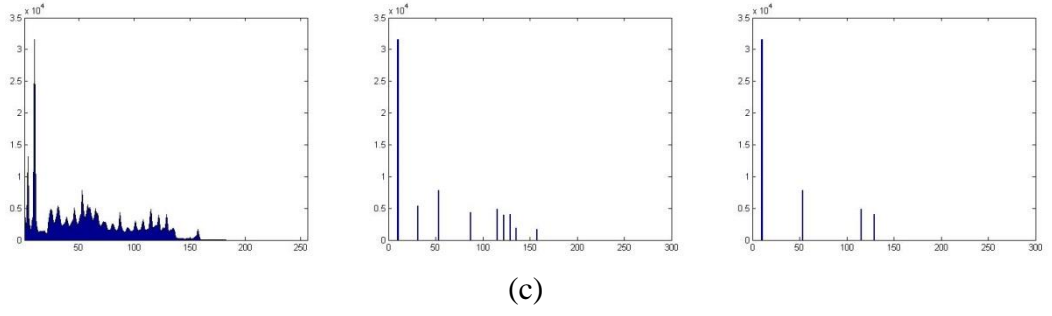
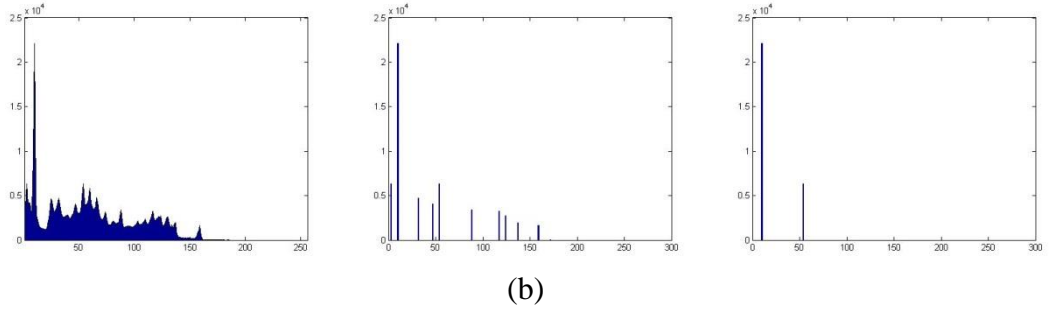
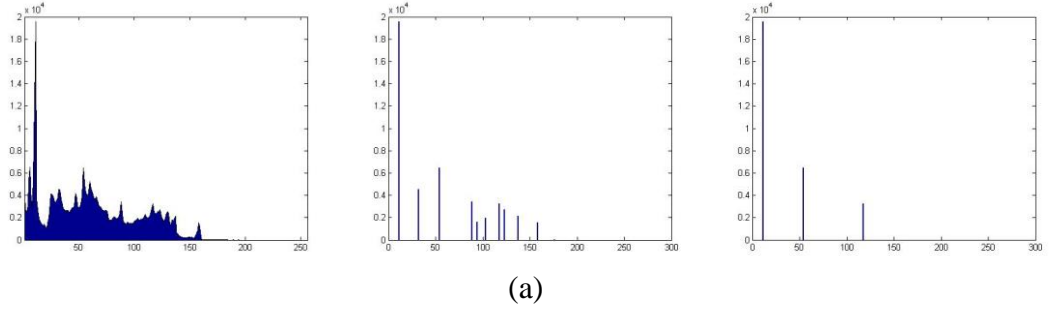


(c)

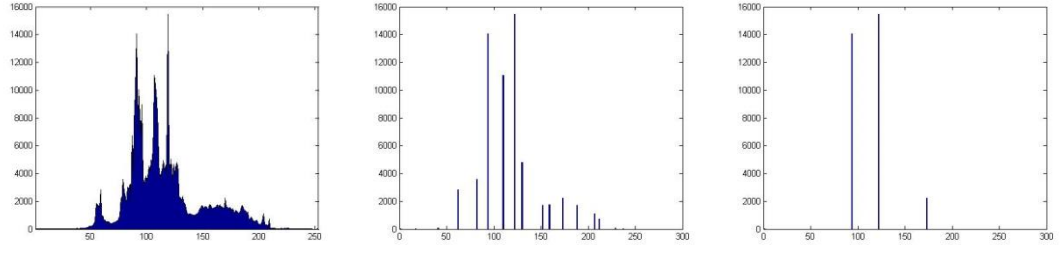


(d)

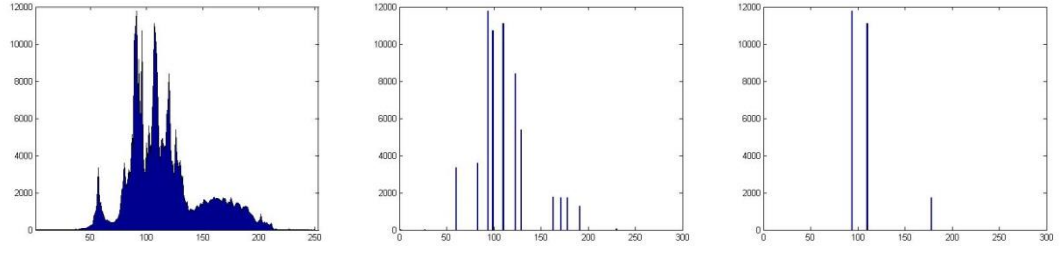
**Şekil 3.18** (a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan *Interview* DH'nın sırasıyla ortalama histogram,  $_2$ BDD ve  $_3$ BDD grafikleri.



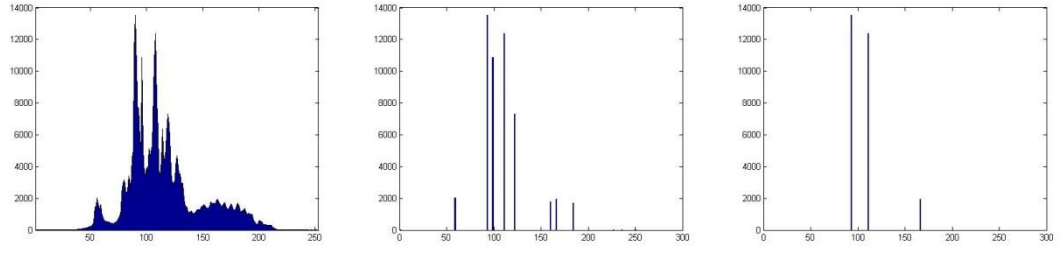
**Şekil 3.19** (a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan *Windmill* DH'nın sırasıyla ortalama histogram,  $_2$ BDD ve  $_3$ BDD grafikleri.



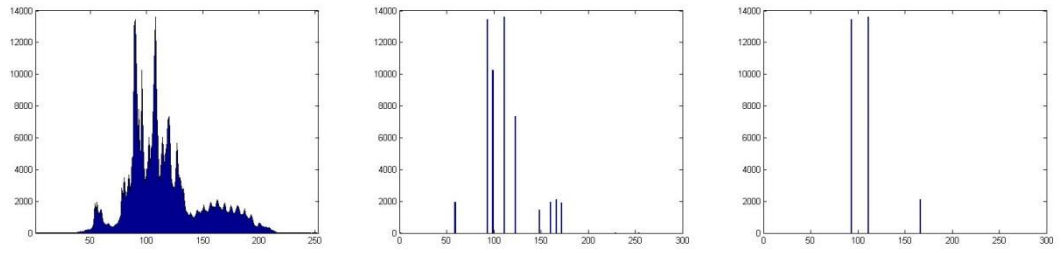
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 3.20** (a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan *Breakdance* DH'nın sırasıyla ortalama histogram,  $_2$ BDD ve  $_3$ BDD grafikleri.

Bir video için bulunan BDD'nin piksel sayıları toplanır. Bu toplam bize yapısal olarak bir DH'nın ne kadar derinlik bilgisi içerdiğini belirtir. Ama videoların uzamsal çözünürlükleri farklı olabileceğinden dolayı bu toplamın normalize edilmesi gerekir. Bu açıklama ışığında herhangi bir DH'nın yapısal ortalama derinliği Denklem (3.11) eşitliği ile hesaplanır.

$$YOD = \frac{BDD_1 + BDD_2 + \dots + BDD_N}{G \times U} \times 100 \quad (3.11)$$

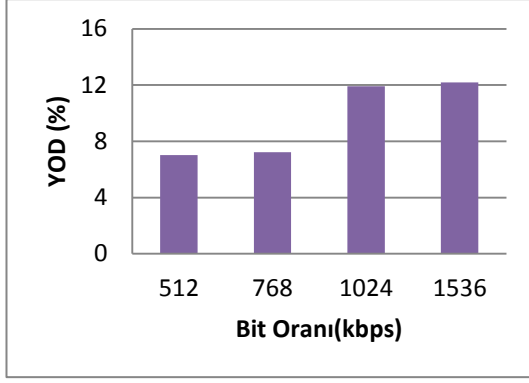
Burada YOD, DH'nın yapısal ortalama derinlik değeridir; N, videodaki BDD sayısıdır; G, videonun genişliği ve U, videonun uzunluğudur. YOD değeri, ortalama bir videoda yüzde kaç pikselin belirgin derinlik bilgisini içerdiğinin ölçüsünü verir.

### 3.2.3. YOD Sonuçları

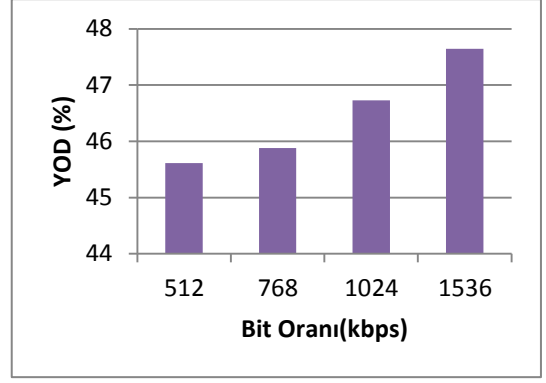
Bu bölümde yapılacak değerlendirmeler ilk olarak her bir videonun (*Windmill*, *Interview*, *Breakdance*, *Chess* ve *Advertisement*) kendi arasında kodlama parametresine (512, 768, 1024 ve 1536 kbps) göre YOD değerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Daha sonra beş farklı video, YOD değerlerine göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.21'de farklı bit oranlarında kodlanan videoların YOD değerlerinin nasıl değiştiği görülmektedir. *Windmill* videosunda YOD, 512 ve 768 kbps için %7 değerinden 1024 ve 1536 kbps için %12 değerine yükselmiştir. *Interview* videosunda YOD, bit oranlarının artışıyla değeri %45'lerden %48'lere yükselmiştir. *Breakdance* videosunda YOD tüm bit oranlarında (512, 768, 1024 ve 1536 kbps) %7.8-7.1 civarlarında kalarak çok fazla bir değişiklik olmamıştır yani en düşük değer ( $YOD_{512}$ ) ile en büyük değere ( $YOD_{1536}$ ) arasındaki fark sadece %0,7'dir. *Chess* videosun da 512 kbps için YOD daha iyi sonuç vermiştir ve diğer bit oranları (768, 1024 ve 1536 kbps) hemen hemen aynı seviyededir. *Advertisement* videosunda YOD değeri, %51'lerden %59'lara bit oranlarının artışıyla birlikte yükselmiştir.

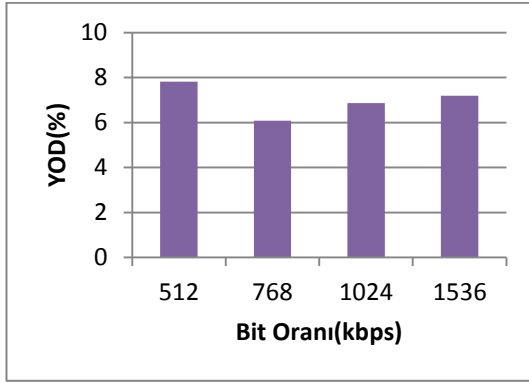




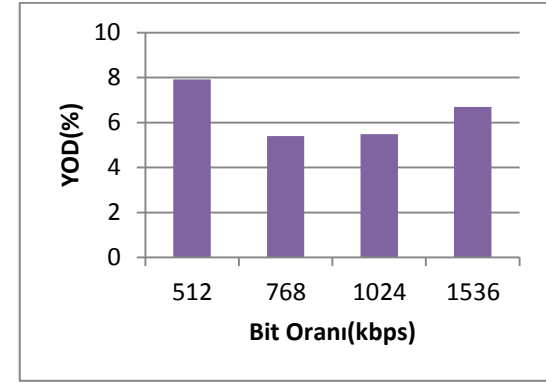
(a)



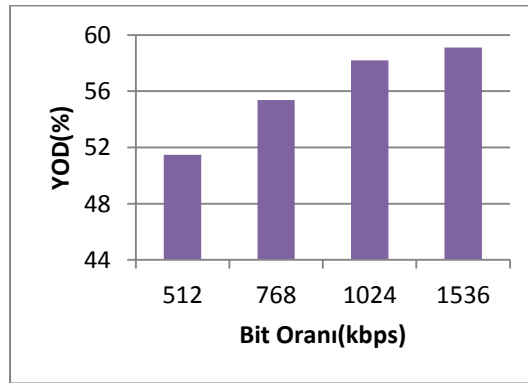
(b)



(c)



(d)



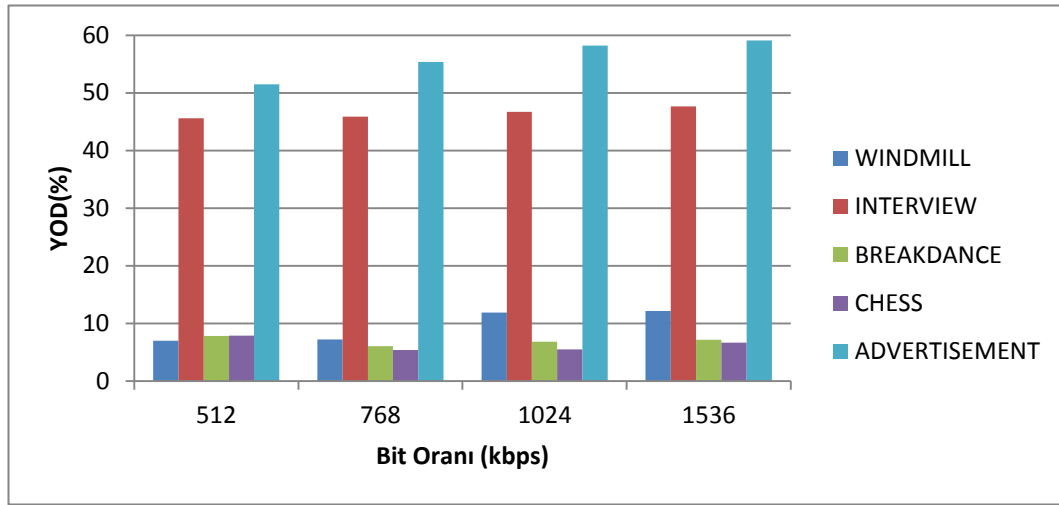
(e)

**Şekil 3.21** Farklı bit oranlarında kodlanan (a)*Windmill*, (b)*Interview*, (c)*Breakdance*, (d)*Chess*, (e)*Advertisement* video görüntülerinin YOD yüzde değerleri.

Şimdi farklı tarzda videoların YOD değerleri kendi aralarında karşılaştırılacaktır. Şekil 3.22 incelendiğinde YOD değeri tüm kodlama parametrelerinde (512, 768,

1024 ve 1536 kbps) en fazla olan video *Advertisement* videosu(%51-59 arası) ve ondan sonra gelen *Interview* videosu(%45-48 arası) olduğu görülmektedir.

*Windmill*, *Breakdance* ve *Chess* videoları ise hemen hemen aynı (%5-8 arası) YOD değerine sahiptir (*Windmill* videosu 1024 ve 1536 kbps için hariç). Beş video arasında en az YOD değerine sahip video bit oranı 512 için *Windmill*, bit oranı 768, 1024 ve 1536 için *Chess* videosudur.



Şekil 3.22 Farklı bit oranlarında kodlanan *Windmill*, *Interview*, *Breakdance*, *Chess* ve *Advertisement* videolarının YOD değerleri.

### 3.3. Derinlik Sapması

3B videoda derinlik olarak birbirlerine yakın cisimlense, ayırık cisimler derinlik (bakımından daha iyi algılanabilir) algısı olarak göze daha net görünecektir [33]. Bu nedenle derinlik algısını etkileyebilecek bir diğer faktör ise derinlik sapmasıdır (DS). DS, DH'larında bulunan nesnelerin z ekseninde birbirinden ne kadar ayırık olduğunun ölçüsüdür. DS hesabında görsel olarak belirgin derinlik düzlemi olan BDD kullanılmıştır. Yani DS, BDD piksel değerleri arasındaki farkın büyüklüğüdür. Bu bölümde DH'larının derinlik sapması açısından incelenmesinin ardından DS ölçümünün nasıl yapıldığından bahsedilecektir.

### 3.3.1. DH'larının Derinlik Sapması Açısından İncelenmesi

Şekil 3.2'deki *Advertisement* ve *Breakdance* videosunu karşılaştıracak olursak, *Breakdance* videosunda dans eden kişi, onu seyreden kişiler ve arka plan derinlik olarak birbirlerine yakındır. *Advertisement* videosunda ise içecek kutusu ve siyah arka plan arasındaki mesafe daha fazladır. Bunun sonucunda *Breakdance*, *Advertisement* videosuna nazaran derinlik düzlemlerinin gözde algılanması daha zor olacaktır. DS'nin değeri z yönünde hareketten ve YOD'den bağımsızdır.

### 3.3.2. Derinlik Sapması Ölçümü

DS ölçümü için Bölüm 3.2'de Denklem (3.11) ile bulunan BDD kullanılmıştır. İlk başta BDD'ler, YGF'den (Yüksek Geçiren Filtre) geçirilerek gürültülerden arındırılır. BDD'lerin sahip olduğu piksel değerleri arasındaki standart sapma bize DH'larındaki BDD'nin ayrıklığını yani derinlik sapmasını verir. DS şu şekilde hesaplanır:

$$DS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{s=1}^N (BDD_s - \overline{BDD})^2} \quad (3.12)$$

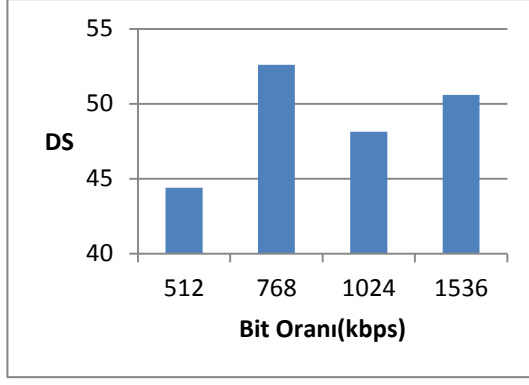
Burada DS, derinlik sapması;  $\overline{BDD}$ , BDD'lerin bulunduğu piksel değerlerinin ortalamasıdır. Ayrıca  $N$ , toplam BDD sayısını ifade etmek üzere  $1 \leq s \leq N$ ,  $s \in Z^+$  olacak şekilde tanımlanır.

Piksel değerlerinin 0 ila 255 arasında değiştiğini ve 0 değerindeki pikselin en uzak, 255 değerindeki pikselin en yakın bilgisini içerdiğinden Bölüm 1.3.2'de bahsetmiştik. DS'nin değeri maksimum 127,5 minimum 0 olabilir. DS'nin değeri 127,5 olabilmesi için DH'da en geride (0 değerinde piksel) bir düzlem ve en ileride (255 değerinde piksel) varsa DS'nin değeri 127,5 olarak maksimum değeri alır.

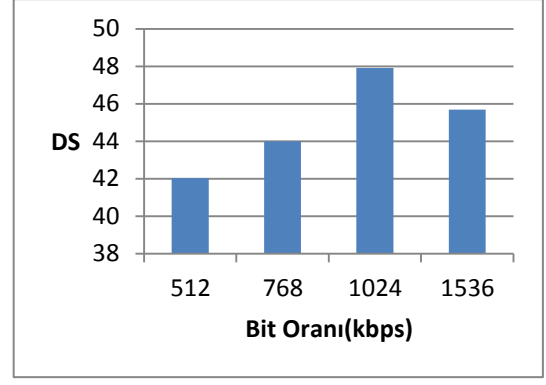
### 3.3.3. DS Sonuçları

Bu bölümde yapılacak değerlendirmeler ilk olarak her bir videonun (*Windmill*, *Interview*, *Breakdance*, *Chess* ve *Advertisement*) kendi arasında kodlama parametresine (512, 768, 1024 ve 1536 kbps) göre DS değerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Daha sonra beş farklı video, DS değerlerine göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

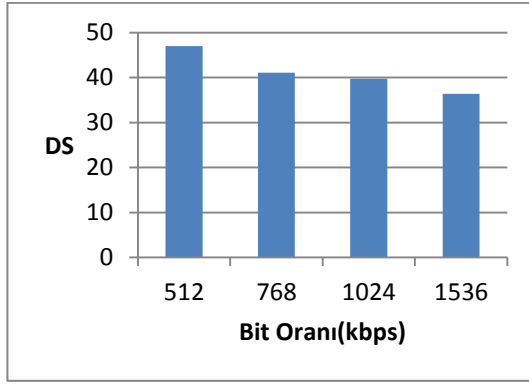
Kodlama parametreleriyle DS değerlerinin nasıl değiştiği Şekil 3.23' de görülmektedir. *Windmill* videosunda 768, 1024 ve 1536 kbps için DS 48-53 düzeydeyken en düşük DS değeri 512 kbps için olduğu görülmektedir. *Interview* videosunda 512,768 ve 1024 kbps için DS bit oranıyla artarken en yüksek DS değeri 1024 ve 1536 kbps içindir ve 46-48 seviyesindedir. *Breakdance* videosunda bit oranıyla azalırken en yüksek DS değeri 768 kbps için olduğu görülmektedir. *Chess* videosunda 768, 1024 ve 1536 kbps için DS 42-45 düzeydeyken en düşük DS değeri 512 kbps için olduğu görülmektedir. *Advertisement* videosunda 1024 ve 1536 kbps için DS aynı düzeyde (72-73) kalırken en düşük DS değeri 512 kbps içindir ve diğer bit oranlarından değeri %15 azdır. En düşük ve en yüksek DS değerleri arasındaki yüzde artışı *Windmill* için %18, *Interview* için %14, *Breakdance* için %29, *Chess* için %35 ve *Advertisement* için %9'dur.



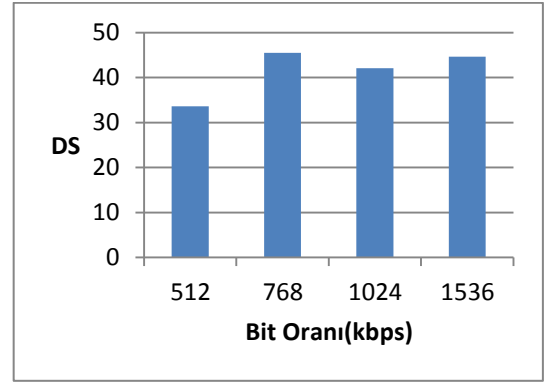
(a)



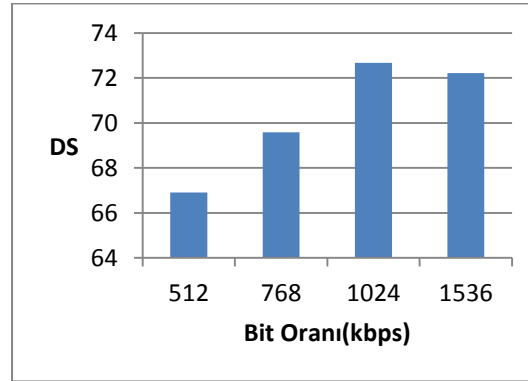
(b)



(c)



(d)

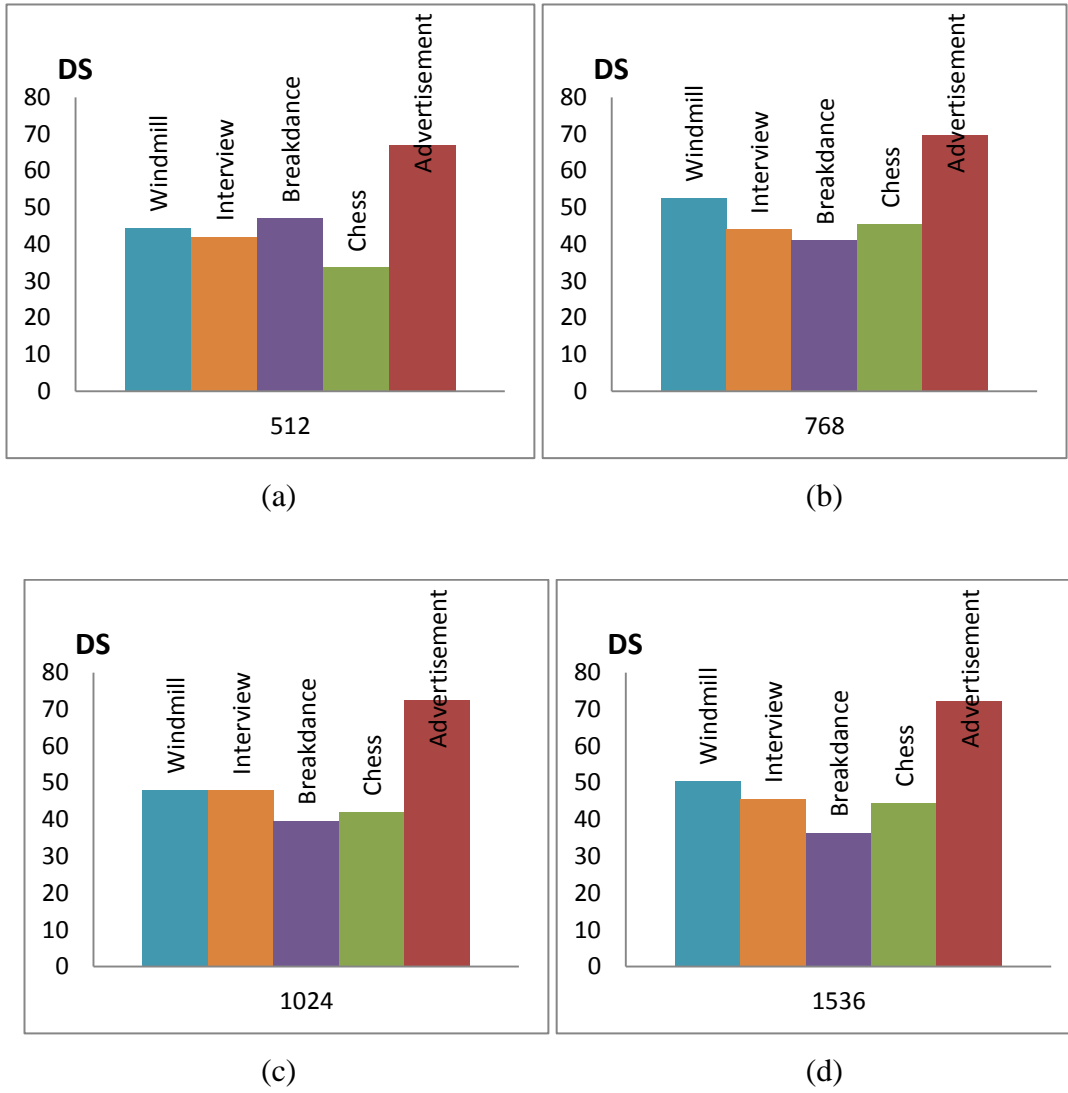


(e)

**Şekil 3.23** Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a)*Windmill*, (b)*Interview*, (c)*Breakdance*, (d)*Chess*, (e)*Advertisement* videolarının DS değerleri.

Şimdi farklı tarzda videoların DS değerleri kendi aralarında karşılaştırılacaktır. Şekil 3.24 incelendiğinde DS değeri tüm kodlama parametrelerinde (512, 768, 1024 ve

1536 kbps) en fazla olan *Advertisement* videosudur (DS:67-73 arası). Grafiklerden anlaşılacağı üzere *Advertisement* DS bakımından en kaliteli videodur. Diğer videolar ise hemen hemen aynı düzeydedir. DS bakımından *Advertisement* videosundan sonra gelen en kaliteli video *Windmill* videosu (DS:44-53 arası) olduğu görülmektedir. Beş video arasında en az DS değerine sahip video, bit oranı 512 için *Chess*, bit oranı 768, 1024 ve 1536 için *Breakdance* videosudur.



**Şekil 3.24** (a)512, (b)768, (c)1024, (d)1536 kbps bit oranıyla kodlanan sırasıyla *Windmill*, *Interview*, *Breakdance*, *Chess* ve *Advertisement* videolarının DS değerleri

### 3.4. Derinlik Algısı Değerlendirmesi (DAD)

Bu bölümde üç algoritma ile elde edilen sonuçlar (ZYH, YOD ve DS), MOS sonuçlarıyla korelasyonuna bakılıp performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Ardından ZYH, YOD ve DS kullanılarak geliştirilen derinlik algısının değerlendirilmesi (DAD) gerçekleştirilecek ve DAD'nin MOS sonuçlarıyla korelasyonuna bakılıp performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Ardından Bölüm 2.2.1'de bahsedilen derinlik algısı ölçümü için sıklıkla kullanılan literatürdeki nesnel 2B video kalite ölçüm yaklaşımları (VQM, SSIM, PSNR) ile elde edilen derinlik algısı ölçüm performanslarını, tezde önerilen DAD sonuçlarıyla karşılaştırılıp başarı analizi yapılacaktır.

Öncelikle Bölüm 2.1' de bahsedilen ve şu anda performans değerlendirilmesi için kullanacağımız MOS puanlarının nasıl elde edildiğinden bahsedilecektir. Şöyle ki Öznel deneylerde beş farklı test dizisi yani: *Windmill*, *Interview*, *Breakdance*, *Chess* ve *Advertisement* videoları kullanılmıştır. Testler University of Surrey'de gerçekleştirilmiştir. Test videoları Standard Definition (SD-704x576 piksel) boyutunda, 25 görüntü hızında, dört farklı bit oranında (512, 768, 1024 ve 1536 kbps) Joint Scalable Video Model (JSVM) kodak 9.13.1 [16] kullanarak kodlanmıştır. Hedef bit oranı % 80 renk sekansları tahsis edildi ve geri kalan bit hızı (yani % 20) deney [49] boyunca derinlik harita dizilerine tahsis edilmiştir. Deneylerde, deneklerden sadece derinlik algısını değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme ölçeğinde 5 puan, derinlik algısında hiçbir azalma anlamına gelir. 1 puan ise algısal azalmanın fazla olduğu, bozulmuş video anlamına gelir. Testler başlangıç eğitim seansı dahil olmak üzere ortalama 20 dakika sürmüştür. 18 denek (6 kadın ve 12 erkek) deneylere katılmıştır. Aykırı değerlendirme yapanlar tespit edildip test grubundan çıkarıldıktan sonra deneyler 16 değerlendirici denek (5 kadın ve 11 erkek) ile yapılmış ve MOS değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1' de beş farklı video için elde edilen üç algoritma sonuçlarının MOS değerleriyle korelasyonu yer almaktadır. ZYH korelasyonu değerleri incelendiğinde *Chess* videosu hariç başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. YOD korelasyonu

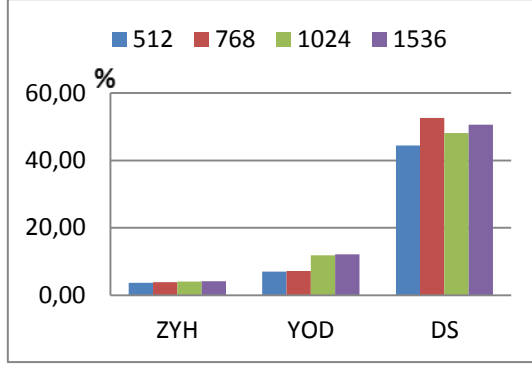
değerleri incelendiğinde *Interview* ve *Chess* videosu hariç başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. DS korelasyonu değerleri incelendiğinde *Windmill* ve *Chess* videosu hariç başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Buradan çıkarılacak önemli bir sonuç şu ki DAD’de ZYH, YOD ve DS derinlik algısı ölçümleri tek başlarına etken değildir. Yani derinlik algısında, algoritmaların her birisinin (ZYH, YOD ve DS) belirli oranlarda katkısı olabilir. Bundan dolayı Çizelge 3.1’ de düşük korelasyon değerine sahip algoritmaların hatalı/eksik olduğu anlamı çıkarılmamalıdır.

**Çizelge 3.1** Derinlik algısı için geliştirilen ZYH, YOD ve DS algoritmalarının performans değerlendirilmesi.

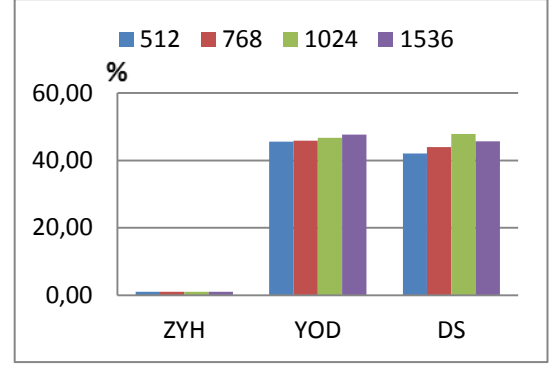
VIDEO	ZYH	YOD	DS
	KORELASYON KATSAYISI		
<i>Windmill</i>	0,85238	0,96442	0,24882
<i>Interview</i>	0,72065	0,48890	0,76703
<i>Breakdance</i>	0,90492	0,97852	0,77702
<i>Chess</i>	0,54640	0,15768	0,39462
<i>Advertisement</i>	0,91921	0,92713	0,86008

Şekil 3.25’te beş farklı video için ZYH, YOD ve DS’nin bir arada bulunduğu grafikler yer almaktadır. Bu grafikten anlaşılacağı üzere videoların yapısından kaynaklanan sebeplerden ötürü ZYH, YOD ve DS’nin şiddetleri değişmektedir. Örneğin *Interview* videosunda ZYH yok denecek kadar azken YOD değeri en yüksek ikinci videodur. *Breakdance* videosunda ZYH, beş farklı video arasında en fazla değere sahipken YOD değerleri diğer videolara nazaran düşüktür. Bu bilgiler bize videoları derinlik yapısı olarak da değerlendirmemizi sağlayacaktır.

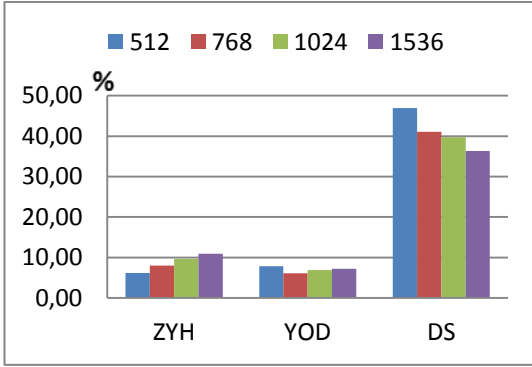




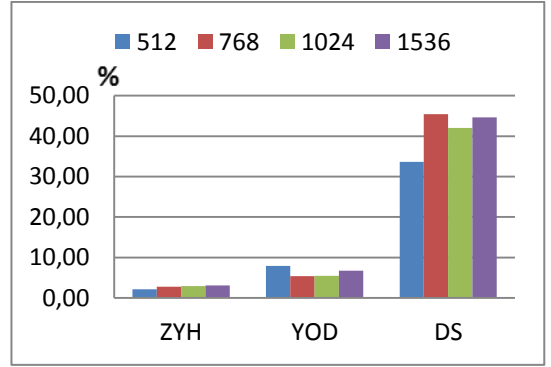
(a)



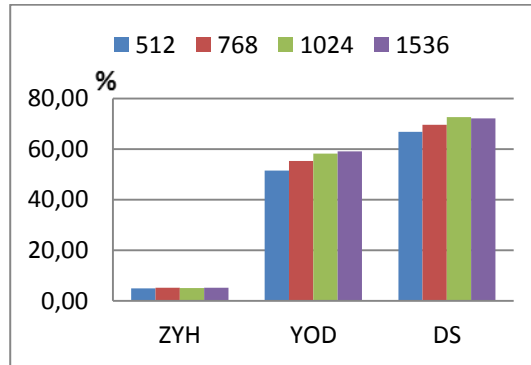
(b)



(c)



(d)



(e)

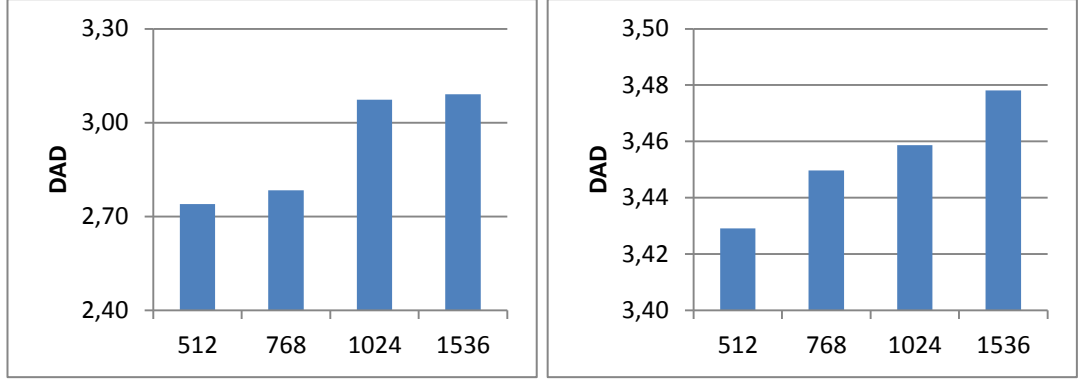
**Şekil 3.25** Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a)*Windmill*, (b)*Interview*, (c)*Breakdance*, (d)*Chess*, (e)*Advertisement* videolarının ZYH, YOD ve DS değerleri.

Şimdi derinlik algısının ölçümü için geliştirilen Bölüm 3.1’de ZYH , Bölüm 3.2’de YOD ve Bölüm 3.3’de DS algoritmaları bir araya getirilip MOS değerlerine en yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılacaktır. Bunun için ZYH, YOD ve DS değerleri Denklem (3.13) kullanılarak DAD geliştirilmiştir.

$$DAD = ZYH^\alpha + YOD^\beta + DS^\gamma \quad (3.13)$$

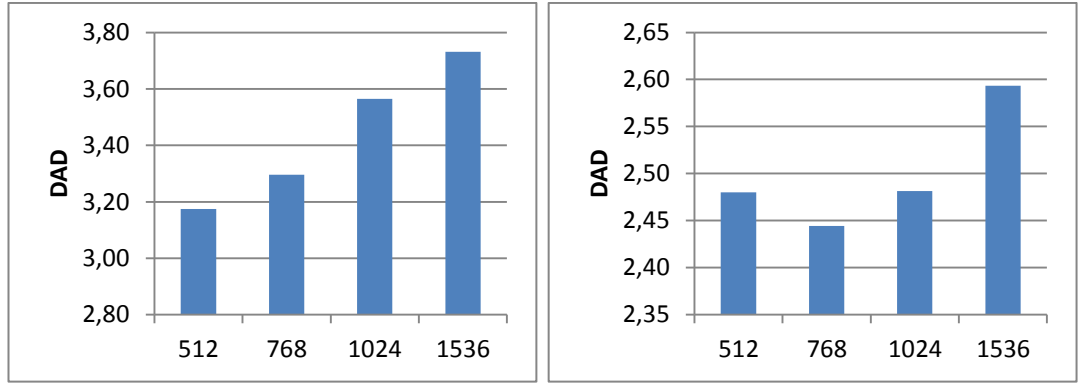
Burada  $\alpha + \beta + \gamma = 1$  olacak şekilde  $\alpha$ , z yönünde hareketin kuvveti;  $\beta$ , yapısal ortalama derinlik değerinin kuvveti;  $\gamma$  ise derinlik sapmasının kuvvetidir. Bu kuvvet değerlerinin ağırlığı, deneysel yöntemlerle belirlenmiştir. Denemeler sonucunda en iyi performans,  $\alpha = 0.5953$  ;  $\beta = 0.4031$  ;  $\gamma = 0.0016$  seçilmesiyle elde edilmiştir.

Şekil 3.26'de Denklem (3.13) kullanılarak elde edilen derinlik algısının değerlendirme sonuçları (DAD) yer almaktadır. Sonuçlara göre genel olarak bit oranındaki artış derinlik algısını da arttırmıştır. *Windmill* videosunda bit oranı 512'den 768 kbps'a çıkmasıyla (0,04 değişim var) ve 1024'den 1536 kbps'a çıkmasıyla (0,02 değişim var) DAD değerlerinde çok fazla bir değişiklik olmazken bit oranı 768'den 1024 kbps'a yükselmesi DAD değerini %11 artmıştır. *Interview* videosunda bit oranının artması DAD değerinde arttırmış yalnız bu artışın büyüklüğü %1'leri aşmamıştır. *Breakdance* videosunda da bit oranının artması DAD değerini de arttırmış ve bu artışın büyüklüğü ortalama %5'dir. *Chess* videosunda bit oranı 512, 768 ve 1024 kbps için DAD değerleri birbirine çok yakınken (0,04 değişim var) bit oranının 1536 kbps'a çıkmasıyla DAD değeri %5 artmıştır. *Advertisement* videosunda bit oranının artması DAD değerini de arttırmış yalnız 768, 1024 ve 1536 kbps için DAD değerleri birbirine çok yakındır (0,06 değişim var) ve bit oranı 512'den 768 kbps'a çıkmasıyla DAD değeri %3 artmıştır. Bu verilerden anlaşılıyor ki video kodlama parametresinin (bit oranının) artması farklı videolarda farklı DAD değer artışlarına neden olmuştur. Yani video kodlamalarında derinlik algısı kayıpları, video yapısına göre değişebilmektedir. Şimdi tezde geliştirilen DAD değerlerinin doğruluğu, MOS puanlarıyla DAD değerlerinin korelasyonuna bakılarak incelenecektir.



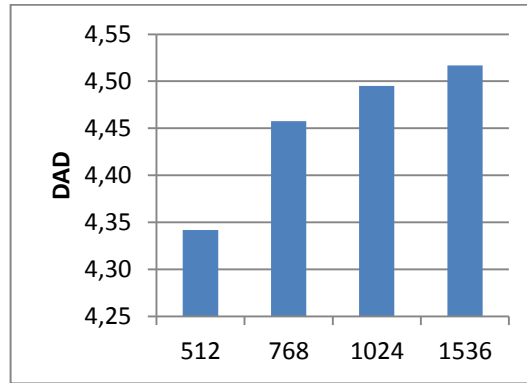
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

**Şekil 3.26** Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a)*Windmill*, (b)*Interview*, (c)*Breakdance*, (d)*Chess*, (e)*Advertisement* videolarının DAD sonuçları.

Geliştirilen DAD'nin doğruluğunu analiz edebilmek için öncelikle DAD değerleri, MOS puanlarının değer aralığı olan 1 ila 5 arasında endekslenmiştir. Bunun için

simetrik lojistik fonksiyon [29] kullanılmıştır. Bu işlem Denklem (3.14)'te verilmiştir.

$$f(DAD) = 5 \times \frac{1}{1 + e^{-DAD}} \quad (3.14)$$

Denklem (3.14) kullanılarak DAD değerleri 1 ila 5 arasına endekslenmiştir. MOS değerleriyle DAD değerlerinin korelasyonu Çizelge 3.2'de verilmiştir. Korelasyon sonuçları, DAD'nin başarılı bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Çizelge 3.2'deki korelasyon değerlerine bakıldığında *Advertisement* videosunda 0.96 , *Chess* videosunda 0.95 , *Breakdance* videosunda 0.94 *Windmill* videosunda 0.91 gibi çok yüksek bir başarı elde edilmiştir. 0.82 korelasyon değerlerine sahip *Interview* başarılıdır denilebilir. Korelasyon katsayılarının ortalaması ise 0.92'dir. Buda geliştirilen algoritmanın iyi bir performans sergilediğini göstermektedir. Geliştirilen DAD algoritması, insan derinlik algısına yüksek oranda hitap eden sonuçları ortaya koymuştur.

Bölüm 2.2.1'de bahsedilen derinlik algısı ölçümü için sıklıkla kullanılan literatürdeki nesnel 2B video kalite ölçüm yaklaşımları (VQM, SSIM, PSNR) ile elde edilen derinlik algısı ölçüm performanslarını, tezde önerilen DAD sonuçlarıyla karşılaştırılıp başarı analizi yapılacaktır. VQM, SSIM ve PSNR metrikleri TR metrikler olduğundan özgün video dizisi kullanılmıştır ve ölçüm sonuçları, sürüm 2.6 *MSU Video Kalitesi Ölçüm Aracı* [50] ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile MOS değerlerinin korelasyon katsayıları bulunmuştur. Çizelge 3.3'de DAD korelasyon değerleri, VQM, SSIM ve PSNR korelasyon değerleriyle birlikte verilerek, tezde önerilen DAD algoritmasının başarısı irdelenmiştir. Çizelge 3.3 incelendiğinde *Windmill* videosunda en iyi korelasyon sonucunu 0.91 değeriyle DAD ve PSNR metrikleri vermiştir. *Interview* videosunda DAD ve SSIM 0.821 ve 0.846 gibi çok yakın korelasyon değerleri elde etmiştir. *Breakdance*, *Chess* ve *Advertisement* videolarında en iyi korelasyon sonucunu DAD metriği vermiştir. VQM, SSIM ve PSNR metrikleri bazı videolarda düşük korelasyona sahiptir. Örneğin *Chess* ve *Interview* videosunda VQM, SSIM ve PSNR metrikleri başarılı bir performans gösterememiştir. Bunun nedeni Bölüm 2.2.1'de bahsedildiği üzere VQM,

SSIM ve PSNR metriklerinin derinlik algısı için değil, 2B VKD için geliştirilmiş olmasındandır. Tezde önerilen DAD ise insanın derinlik algısına hitap eden nitelikleri göz önüne alınıp geliştirildiğinden tüm videolar için başarılı olmuştur. Çizelge 3.3’de Ortalama korelasyon değerlerine baktığımızda DAD metriği 0.92 değeriyle diğer metrikleri geride bırakmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki öznel testlerin sonuçları ile uyumlu bir 3B derinlik algısı metriği geliştirilebilmiştir.

**Çizelge 3.2** Geliştirilen DAD algoritmasının performans analizi.

VİDEO	BİT ORANI	DAD	KORELASYON
<i>Windmill</i>	512	2,740	0,91
	768	2,784	
	1024	3,074	
	1536	3,091	
<i>Interview</i>	512	3,429	0,82
	768	3,450	
	1024	3,459	
	1536	3,478	
<i>Breakdance</i>	512	3,175	0,94
	768	3,296	
	1024	3,565	
	1536	3,731	
<i>Chess</i>	512	2,480	0,95
	768	2,444	
	1024	2,481	
	1536	2,593	
<i>Advertisement</i>	512	4,342	0,96
	768	4,458	
	1024	4,495	
	1536	4,517	
<b>ORTALAMA</b>			<b>0,92</b>

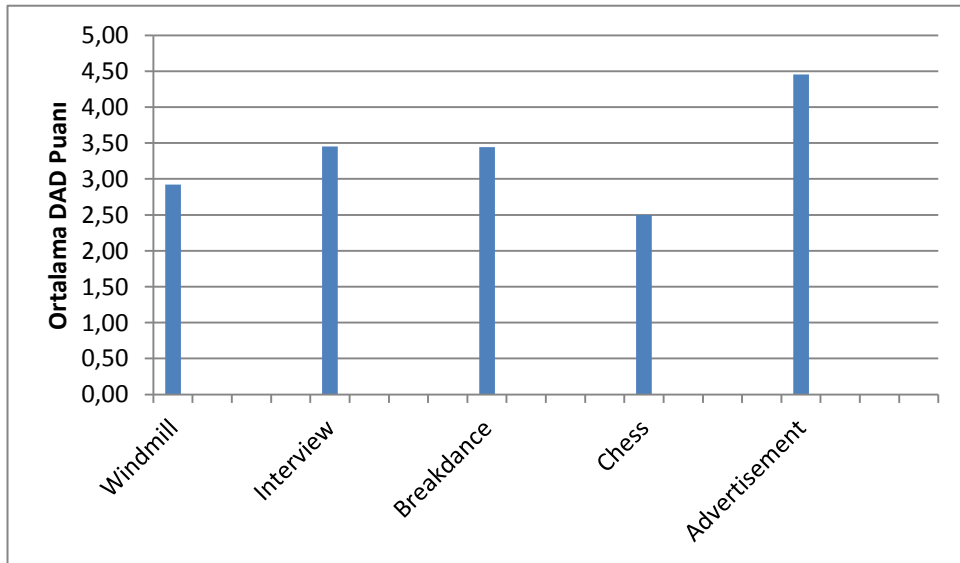
**Çizelge 3.3** DAD, VQM, SSIM ve PSNR ile MOS puanlarının korelasyon katsayıları.

VİDEO	KORELASYON KATSAYISI			
	DAD	VQM	SSIM	PSNR
<i>Windmill</i>	0,910	0,880	0,800	0,910
<i>Interview</i>	0,821	0,740	0,846	0,776
<i>Breakdance</i>	0,942	0,919	0,868	0,886
<i>Chess</i>	0,954	0,613	0,584	0,759
<i>Advertisement</i>	0,961	0,901	0,924	0,798
<b>ORTALAMA</b>	<b>0,92</b>	<b>0,81</b>	<b>0,80</b>	<b>0,83</b>

3B videonun 2B videolardan en önemli farkı derinlik algısına sahip olması ve izleyenleri video içerisine çekerek gerçek hislere büründürmesidir. İzleyicilerin 3B'yi tercih etmelerinin nedenlerinden biri budur [51]. Dolayısıyla izleyici farklı tarzdaki videolardan hangisinin derinlik algısı bakımından daha iyi veya daha vasat olduğunu bilmek isteyebilir [51]. DAD, aynı zamanda farklı videoları derinlik algısı bakımından derecelendirebilmektedir. Çizelge 3.4'de dört farklı bit oranında kodlanan beş değişik videoya ait DAD puanları, DAD puanları ortalaması ve DAD-MOS korelasyonu verilmiştir. Çizelge 3.4'te ortalama DAD puanları incelendiğinde, her bir video için farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu farklılığı daha iyi görebilmek için Şekil 3.27'deki grafik çizilmiştir. Buradan anlaşılıyor ki DAD'ın bu özelliği sayesinde videolar derinlik özelliklerine göre sınıflandırılabilir.

**Çizelge 3.4** DAD puanlarının farklı videolar için karşılaştırılması.

VIDEO	BİT ORANI	DAD Puanı	Ortalama DAD Puan	DAD-MOS Korelasyonu
<i>Windmill</i>	512	2,74	2,92	0,91
	768	2,78		
	1024	3,07		
	1536	3,09		
<i>Interview</i>	512	3,43	3,45	0,82
	768	3,45		
	1024	3,46		
	1536	3,48		
<i>Breakdance</i>	512	3,17	3,44	0,94
	768	3,30		
	1024	3,56		
	1536	3,73		
<i>Chess</i>	512	2,48	2,50	0,95
	768	2,44		
	1024	2,48		
	1536	2,59		
<i>Advertisement</i>	512	4,34	4,45	0,96
	768	4,46		
	1024	4,50		
	1536	4,52		



**Şekil 3.27** Ortalama DAD puanı.

#### 4. SONUÇLAR

Literatürde güvenilir ve verimli bir derinlik algısı değerlendirmesinin olmaması yüzünden, 3B video derinlik algısı için öznel testler kullanılmaktadır. Öznel testlerin zahmetli ve maliyetli olmasının 3B video teknolojileri ve ticari ürünlerin gelişmesi ve ilerlemesi üzerine olumsuz etkileri vardır. Bundan dolayı 3B VKD için nesnel bir derinlik algısını değerlendiren bir metrik geliştirilebilmesi çok önemlidir. Tez kapsamında önerilen DAD yönteminin, literatürde 3B VKD üzerine çalışan araştırmacılar tarafından kabul görebilecek nitelikte olup, maliyetli ve zaman alıcı öznel testlerin yerine geçebilecek bir algoritma olabileceği, elde ettiği sonuçlarla gösterilmiştir.

2B+DH tabanlı 3B videolarda DH kullanılarak tezde geliştirilen DAD algoritması, farklı bit oranlarında (512, 768, 1024 ve 1536 kbps) kodlanan beş değişik video (*Windmill, Interview, Breakdance, Chess ve Advertisement*) için *MATLAB2013b* yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DAD algoritmasının güvenilir bir metrik olabilmesi için öncelikle İGS'de derinlik hissine etki edebilecek nitelikler araştırılmıştır. Araştırma sonucu derinlik algısına etki edebilecek üç nitelik üzerinde durulmuştur. Bu nitelikler z yönünde hareket, yapısal ortalama derinlik ve derinlik sapmasıdır. DAD algoritması, bu üç etkenin birleşiminden meydana gelen bir metrik olarak tasarlanmıştır.

Öznel test sonuçlarının DAD, VQM, PSNR ve SSIM gibi metrikler ile korelasyon sonuçları karşılaştırılmış ve DAD 0,92 korelasyon değeriyle diğer metrikleri geride bırakarak tezde kullanılan tüm 3B videolar için de en başarılı sonucu elde etmiştir. Bu sonuçlar ışığında, geliştirilen DAD algoritması insanın derinlik algısına hitap eden verimli bir referanssız nesnel metriktir yargısına ulaşılabilir. DAD metriğinin referanssız olması sayesinde çoklu ortam servis sağlayıcıları tarafından alıcı tarafta hangi kalitede yayın yapıldığı anlık olarak görülebilecek ve ona göre gerekirse tedbirler alınabilecektir.



Tezde önerilen DAD, farklı tarzdaki 3B videoları derinlik algısı bakımından da değerlendirmektedir. Böylece DAD, 3B teknolojisi için para ödeyen müşterinin tercihinine yardımcı olabilir. Aynı zamanda 3B video teknolojisi üreten şirketlerin ürettikleri ürünlerin daha kaliteli hale getirip pazar paylarını arttırmalarına yardımcı olabilir. Tezde önerilen algoritmayla 2B-3B dönüşümünün başarısı ölçülebilir ve ona göre geri beslemeler yapılarak istenilen verimde ürünler ortaya konulabilir. Geliştirilen bu metrik yardımı ile çoklu ortam servislerinin daha verimli ve kullanıcıların 3B video algısına hitap eden 3B video uygulamalarını ve teknolojilerini geliştirmeleri sağlanabilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] V. Teulade, “3D Here and Now...a goose that lays a golden egg?” PricewaterhouseCoopers Entertainment, Media & Communications, 2010.
- [2] Anonim, İstatistik Portalı, <http://www.statista.com/statistics/271863/number-of-3d-cinema-screens-worldwide/> (Erişim tarihi: 21.12.2013)
- [3] A. Akay, Derinlik Algısına Eşlik Eden Görsel Uyarılmış Potansiyeller. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 2007.
- [4] S. Lang Reichelt, R. Hussler, G. Ffterer, and N. Leister, “Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays,” in Proc. Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010 and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics IV, Orlando, FL, 2010.
- [5] S. E. Palmer, Vision Science: Photons to Phenomenology. Cambridge: MIT Press, 1999.
- [6] Getty Images, <http://www.gettyimages.com/> (Erişim tarihi: 08.03.2013)
- [7] V. A. Nguyen, I. P. Howard, and R. S. Allison, “The contribution of image blur to depth perception,” J. Vision, vol. 4, no. 8, article 461, 2004.
- [8] A. Criminisi, I. Reid, and A. Zisserman, “Single view metrology,” Int. J. Comput. Vis., vol. 40, pp. 123–148, 2000.
- [9] TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., <https://www.tai.com.tr/tr/proje/atak> (Erişim tarihi: 08.03.2013)
- [10] A. Yoonessi and C. L. Baker, Jr., “Contribution of motion parallax to segmentation and depth perception,” J. Vision, vol. 11, no. 9, pp. 1–21, 2011.

- [11] T. Vaughan, “Principles Of 3D Video And Blu-Ray 3D” Cyberlink, 2010.
- [12] B. K. P. Horn and M. J. Brooks, Shape From Shading. Cambridge, MA: MIT Press, 1989.
- [13] 3D Studio Max, Gouraud Resimi, gölgeli yüksek poligon küre, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gouraud\\_high.gif](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gouraud_high.gif) (Erişim tarihi: 08.03.2013)
- [14] C.Wei, F. Jérôme, B. Marcus, and P. Le Callet, “New requirements of subjective video quality assessment methodologies for 3DTV,” in Proc. Video Processing and Quality Metrics (VPQM), Scottsdale, AZ, 2010.
- [15] T. Docherty, A. Woods, and R. Koch, “Image distortions in stereoscopic video systems,” in Proc. SPIE, Stereoscopic Displays and Applications IV, vol. 1915, pp. 36–48, 1993.
- [16] JSVM 9.13.1. CVS Server [Online]. Available Telnet: garcon.ient.rwth aachen.de:/cvs/jvt
- [17] Anonim, “Middlebury University stereo image databases”, <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/scenes2001/>, (Erişim tarihi: 25 Nisan 2011).
- [18] G. Nur, H. Kodikara Arachchi, S. Dogan, and A. M. Kondoç, “Advanced Adaptation Techniques for Improved Video Perception,” IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, pp. 225-240, ISSN 1051-8215, 2012.
- [19] Anonim, [www.wikipedia.org/wiki/Kinect](http://www.wikipedia.org/wiki/Kinect) (Erişim tarihi: 18.03.2013)
- [20] Anonim, TechPedias, <http://mithil.me/mini-2d-to-3d-hd-video-converter-gadget/> (Erişim tarihi: 17.02.2013)
- [21] William, S., serves of Stereo D, a 2D to 3D conversion company, <http://www.stereodllc.com/> (Erişim tarihi 17.02.2013)
- [22] Anonim, The Wrap News, <http://www.thewrap.com> (Erişim tarihi: 11.10.2013)

- [23] Arnold, J., HowStuffWorks, <http://science.howstuffworks.com/3-d-glasses2.htm> (Erişim tarihi: 08.03.2013)
- [24] Anonim, <http://www.3d-display-info.com/3d-technology> (Erişim tarihi: 11.10.2013)
- [25] C. T. E. R. Hewage, Perceptual Quality Driven 3-D Video over Networks. Doktora Tezi. Surrey Üniversitesi, 2008.
- [26] S. Bech, R. Hamberg, M. Nijenhuis, C. Teunissen, H. L. de Jong, P. Houben, and S. K. Pramanik, "The RaPID perceptual image description method (RaPID)", Proc. SPIE, vol. 2657, pp. 317 - 328, 1996.
- [27] L.B. Stelmach, W.J. Tam, and D.V. Meegan, "Perceptual basis of stereoscopic video", Proc. SPIE: Special issue on Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VI, vol. 3639, pp. 260 - 265, May 1999.
- [28] M. Pinson and S. Wolf, "A new standardized method for objectively measuring video quality," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 50, pp. 312 - 322, Sept. 2004.
- [29] International Telecommunication, 'Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures', ITU-R BT.500-11, Jan. 2002
- [30] Anonim, Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Mean\\_opinion\\_score](http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_opinion_score) (Erişim tarihi: 18.4.2014)
- [31] C.T.E.R. Hewage, S.T. Worrall, S. Dogan, S. Villette, and A.M. Kondoz, "Quality evaluation of color plus depth map-based stereoscopic video," IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing, vol. 3, no. 2, pp. 304-318, Apr. 2009.
- [32] M. Donati, H. Pinson and S .Wolf, "A new standardized method for objectively measuring video quality," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 50, no. 3, pp. 312-322, Sep. 2004.
- [33] P. Lebreton, A. Raake, M. Barkowsky P. Le Callet, "Evaluating Depth Perception of 3D Stereoscopic Videos," IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 6, 710-720, 2012.

- [34] Anonim, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/PSNR> (Erişim tarihi: 11.10.2013)
- [35] G. Ertan 3-Boyutlu Asimetrik Video kodlamaları İçin Kalite Metriklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2011.
- [36] P. Gorley, and N. Holliman, “Stereoscopic Image Quality Metrics and Compression”, Proc. SPIE Stereoscopic Displays and Applications XIX, California, Vol. 6803., 12p, 2008.
- [37] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, “Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity”, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, pp. 600 - 612, 2004.
- [38] Z. Wang, L. Lu, and A. C. Bovik, “Video quality assessment based on structural distortion measurement,” Proc. of Signal Processing: Image Com., vol. 19, no. 2, pp. 121-132, 2004.
- [39] Anonim, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/SSIM> (Erişim tarihi: 21.04.2014)
- [40] Video Quality Experts Group (VQEG), Available: <http://www.vqeg.org>. "Final report from the Video Quality Experts Group on the validation of objective models of video quality assessment, phase II", VQEG, 2003.
- [41] ITS Video quality research. Available: [www.its.bldrdoc.gov/n3/video/VQM\\_software.php](http://www.its.bldrdoc.gov/n3/video/VQM_software.php)
- [42] A. Boev, M. Poikela, A. Gotchev, and A. Aksay, “Mobile3DTV Project”, European Union RTD, 2008.
- [43] W. IJsselsteijn, H. de Ridder, and J. Vliegen, “Subjective evaluation of stereoscopic images: Effects of camera parameters and display duration”, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 10, pp. 225 - 233, Mar. 2000.

- [44] D. Kim and D. Min, J. Oh , S. Jeon , and K. Sohn . “Depth Map Quality Metric for Three-Dimensional Video,” SPIE Stereoscopic Displays and Applications, San Jose, CA, USA, 2009.
- [45] M. Solh, G. Alregib, and J.M. Bauza, “3VQM: A vision-Based Quality Measure For DIBR-Based 3D Videos,” 2011.
- [46] C. Sun, X. Liy, X. Xu, and W. Yang “An Efficient Quality Assessment Metric for 3D Video,” IEEE 12th International Conference on Computer and Information Technology, China, 2012.
- [47] D. Kim, S. Ryu, K. Sohn “Depth Perception and Motion Cue based 3D Video Quality Assessment,” IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting,” 2012.
- [48] J. E. Cutting and P. M. Vishton, “Perceiving layout and knowing distance: The integration, relative potency and contextual use of different information about depth,” in Perception of Space and Motion, S. Rogers and W. Epstein, Eds. New York: Academic, pp. 69–117,1995.
- [49] G. Nur, "Advanced Adaptation Techniques for Improved Video Perception," PhD Thesis, University of Surrey, UK, June 2011.
- [50] Dmitriy, V., MSU Graphics & Media Lab (Video Group), [http://compression.ru/video/quality\\_measure/video\\_measurement\\_tool\\_en.html](http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html) (Erişim tarihi: 10.05.2014)
- [51] C. Wegener, J. Jockenhövel, 3D Media Workshop, <http://www.prime3d.de/> “3D from a Viewer's Perspective: Results of Quantitative and Qualitative Research”, Fraunhofer HHI, 2009.