

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2-BOYUTLU VİDEO VE DERİNLİK
HARİTASI TEMELLİ 3-BOYUTLU
VİDEO KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

Mustafa Yasin ERTEN

OCAK 2016

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Mustafa Yasin ERTEN
tarafından hazırlanan 2-BOYUTLU VİDEO VE DERİNLİK HARİTASI TEMELLİ
3-BOYUTLU VİDEO KALİTE DEĞERLENDİRMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin
Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

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 : Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

29.01.2016

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

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Sevgili Eşime ve Aileme

ÖZET

2-BOYUTLU VIDEO VE DERİNLİK HARİTASI TEMELLİ 3-BOYUTLU VIDEO KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

ERTEN, Mustafa Yasin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Gökçe NUR YILMAZ

Ocak 2016, 109 sayfa

Günden güne gelişen 3 Boyutlu (3B) video teknolojilerine (kodlama, iletim, saklama vs) geri bildirim oluşturabilmesi dolayısı ile 3B Video Kalite Değerlendirmesi (VKD) günümüzde 3B video üreticileri için ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyaç da araştırmacıların ilgisini çekmiş ve önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Böylece hem 2 Boyutlu (2B) hemde 3B metrikler geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde, araştırmacılar tarafından 2B videolar için yaygın olarak kullanılan nesnel VKD metrikler literatürde yerini almıştır. Fakat, 3B videolarda 2B videolarda bulunmayan derinlik, doğallık, yoğunluk hassasiyeti gibi bilgilerin bulunmasından ve bunların değerlendirilmesinin zor olmasından ötürü İnsan Görsel Sistemi (İGS) ile yüksek ilintiye sahip yaygın kullanımlı bir metrik 3B videolar için geliştirilememiştir. Bundan dolayıdır ki, 3B VKD için halen zaman ve maliyet dezavantajları olmasına rağmen öznel testler kullanılmaktadır. Literatürdeki nesnel metrikleri ele aldığımızda üç başlık altında incelenmiştir: Tam Referanslı (TR), Azaltılmış Referanslı (AR) ve Referanssız metrikler. TR metriklerin videoyu kalite değerlendirebilmesi için videonun orijinaline sahip olması gerekmektedir. AR metriklerin VKD yapabilmesi için orijinal video dizisinden elde edilen özneliklerin olması gerekirken Referanssız metriklerin VKD yapabilmesi için orijinal videoya ya da özneliklerine sahip olmasına gerek yoktur.

Bu yüzden Referanssız metrikler zaman ve hız bakımından avantajlarının yanında bant genişliğini de verimli kullanmamızı da sağlar. Dolayısıyla güvenilir bir Referanssız 3B VKD metriği geliştirmek çok önemli ve elzemdir.

Bu tezin amacı, 2B+derinlik haritası temelli 3B videoların farklı hızlarda kodlanmış 2B videolarının İGS ile bağlantılı hareket, yapısal karmaşıklık ve kontrast bilgilerini kullanarak Referanssız bir 3B nesnel VKD metriği geliştirmektir. Önerilen 3B nesnel VKD metriği farklı bit oranlarında kodlanan videolardan elde edilen öznel ve literatürde çok kullanılan 2B TR nesnel VKD sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve oldukça yüksek performans elde edilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen 3B nesnel VKD metriğinin orijinal videoya ya da özneliklerine gereksinim duymadan 3B VKD' sini başarıyla gerçekleştirdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B video, 2B video, Video kalite değerlendirmesi, Derinlik haritası, Hareket, Yapısal karmaşıklık, Kontrast.

ABSTRACT

COLOR PLUS DEPTH MAP BASED 3D VIDEO QUALITY ASSESSMENT

ERTEN, Mustafa Yasin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

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

Supervisor: Assistant Prof. Gökçe NUR YILMAZ

January 2016, 109 pages

Advancement in 3 Dimensional (3D) video technologies (coding, transmission, storage etc) enable a necessity for Video Quality Assessment (VQA) due to feedback it can provide to them. This necessity has received attention from researchers and has become a prominent area of research. Thus, a new era has started for developing both 2 Dimensional (2D) and 3D metrics. Currently, objective VQA metrics widely utilized by researchers for 2D videos exist in literature. However, a widely exploited 3D VQA metric correlating with Human Visual System (HVS) has not been developed by now since 3D video has depth, nature, and depth sensitivity properties absent in 2D video which can be assessed in a pretty sophisticated manner. For this reason, subjective tests are employed for 3D VQA even though they have time and cost disadvantages. Objective metrics in literature are classified into three categories: Full Reference (FR), Reduced Reference (RR) and No-reference (NR) metrics. The original video is required for VQA considering the FR metrics. While features obtained from the original video are required for RR metrics to evaluate the quality, NR metrics do not require original video or its features for evaluating the video quality. Therefore, besides its time and speed advantages, NR metrics allow us to use bandwidth efficiently. Consequently, it is of vital importance to develop a reliable NR 3D video VQA metric.

The aim of this thesis is to develop a NR 3D VQA metric considering motion, structural complexity, and contrast information associated with HVS in 2D videos belonging to 2D+DM based 3D videos and coded with different bit rates. The proposed 3D objective VQA metric is compared with subjective and well-known objective FR VQA metric results and it delivers high performance. Consequently, it is concluded that the developed 3B objective VQA metric performs 3D VQA successfully without using the original video or its attribution.

Keywords: 3D video, 2D video, Video quality assessment, Depth map, Motion, Structural complexity, Contrast.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım boyunca ve tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine sunan, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Gökçe NUR YILMAZ'a ve hayatımın her alanında yanımda olan aileme ile beni hep destekleyen eşime minnetle teşekkür ederim.

Bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan ve tezimi tamamlama sürecinde bana yol gösteren hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Eyüp TUNA'ya da ayrıca sevgiyle teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Derinlik Algılaması ve 3B Görme.....	2
1.2.1. Binoküler İpuçları.....	3
1.2.2. Monoküler İpuçları.....	4
1.3. 3B Görüntü Eldesi.....	10
1.3.1. Sağ+Sol Görüntü	10
1.3.2. 2B Video + Derinlik Haritası (2B+DH).....	11
1.3.3. 2B-3B Dönüşümü	12
1.4. 3B Video Görselleştirilmesi.....	13
1.4.1. Anagram Yöntem ile 3B Gösterim.....	13
1.4.2. Polarize Yöntem ile 3B Gösterim.....	14
1.4.3. Aktif Yöntem ile 3B Gösterim	16
1.4.4. 3B Gözlüksüz Gösterim	17
2. LİTERATÜRDEKİ 3B VKD YÖNTEMLERİ	18
2.1. 3B VKD Öznel Yöntemler.....	18
2.1.1. Mutlak Kategori Skorlaması (MKS) (Absolute Category Rating-ACR) Metodu.....	
2.1.2. Gizlenmiş Referanslı MKS (GR-MKS) (Absolute Category Rating with Hidden Reference-ACR-HR) Metodu.....	20

2.1.3. İndirgeme Kategori (İKM) (Degradation Category Method-DCR)	
Metodu.....	21
2.1.4. Eş Karşılaştırma (EK) (Pair Comparison-PC) Metodu.....	22
2.1.5. Çift Uyarıcılı Sürekli Kalite Ölçeği (ÇUSKÖ) (Double Stimulus Continuous Quality Scale- DSCQS)	24
2.1.6. Tek Uyarıcılı Sürekli Kalite Değerlendirme (TUSKD) (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation- SSCQE).....	25
2.1.7. Video Kalitesi İçin Öznel Değerlendirme Metodolojisi (VKÖDM) (Subjective Assessment Methodology for Video Quality- SAMVIQ) .	26
2.2. 2B Videolar için Nesnel VKD Metrikleri.....	27
2.2.1. TR VKD Metrikleri	28
2.2.2. AR VKD Metrikleri.....	33
2.2.3. Referanssız VKD Metrikleri	36
3. ÖNERİLEN 3B VIDEO KALİTE ÖLÇÜM MODELİ	39
3.1. Hareket ve Hız Analizi Algoritması (HHAA)	40
3.1.1. HHAA'nın İncelenmesi	41
3.1.2. HHAA'nın Ölçümü.....	45
3.1.3. HHAA'nın Sonuçları	49
3.2. Yapısal Karmaşıklık Algoritması (YKA).....	57
3.2.1. YKA'nın İncelenmesi	57
3.2.2. YKA'nın Tasarlanması	58
3.2.3. YKA'nın Sonuçları.....	61
3.3. Kontrast Algoritması (KA)	71
3.3.1. Kontrastın Histogramlar üzerinden İncelenmesi	76
3.3.2. Kontrast Ölçümü.....	78
3.3.3. KA Sonuçları.....	79
3.4. 3B Video Kalite Değerlendirme Metriği (3B VKDM).....	88
4. SONUÇLAR	98
KAYNAKLAR	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Derinlik algısı için geliştirilen HHAA, YKA ve KA algoritmalarının performans değerlendirilmesi.	89
3.2. Geliştirilen VKDM'nin performans analizi.	95
3.3. VKDM, VQM, SSIM ve PSNR ile MOS puanlarının korelasyon katsayıları.	97



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Yakınsama [10].	4
1.2. Tac Mahal [9].	5
1.3. Satranç [9].	5
1.4. Yerebatan sarnıcı [9].	6
1.5. Arnavut kaldırımı [9].	6
1.6. Sisli hava [9].	7
1.7. Türk Yıldızları [9].	8
1.8. Hareket Paralaksı: Kamera hareketi [11].	8
1.9. Gölge Dağılımlı Elma [9].	9
1.10. Panasonic AG3DA1 [9].	11
1.11. Kinect: (A) Kızılötesi kaynak, (B) 2B Kamera, (C) Derinlik kamerası [11].	12
1.12. Anagram 3B video gösterimi [16].	14
1.13. Polarize yöntem ile 3B videonun ekrana yansması	15
1.14. Doğrusal polarizasyon yöntemi ile 3B video gösterimi [16].	15
1.15. Dairesel polarizasyon yöntemi ile 3B video gösterimi [16].	16
1.16. Aktif 3B yöntemi ile video gösterimi [9].	17
2.1. ACR metotta uyartım sunumu [21].	20
2.2. DCR metotta uyartım sunumu [21].	22
2.3. PC metotta uyartım sunumu [21].	23
2.4. DSCQS metotta uyartım sunumu [21].	24
2.5. DSCQS metotta değerlendirme [21].	25
2.6. SSCQE metotta uyartım sunumu [21].	26
2.7. SAMVIQ metotta değerlendirme ekranı görüntüsü [21].	27
3.1. (a) <i>Chess</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Windmill</i> videolarının 2B video ve bağlantılı derinlik haritalarının anlık görüntüleri.	39
3.2. <i>Chess</i> , <i>Interview</i> ve <i>Windmill</i> videolarının ilk görüntüleri	42
3.3. <i>Interview</i> videosuna ait hız eğrisi	43
3.4. <i>Interview</i> videosuna ait görüntü değişimleri (a) görüntü#28 (b) görüntü#31,	

(c) görüntü#60, (d) görüntü#63	44
3.5 Hareket ve hız analizi algoritmasının blok diyagramı	45
3.6 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) (b) <i>Chess</i> , (c) (d) <i>Interview</i> , (e) (f) <i>Windmill</i> videoların hız eğrisi	49
3.7 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) (b) <i>Chess</i> , (c) (d) <i>Interview</i> , (e) (f) <i>Windmill</i> videoların ortalama hız ve varyans değişim grafikleri.	54
3.8 Farklı bit oranlarında kodlanan <i>Chess</i> , <i>Interview</i> ve <i>Windmill</i> videolarının (a) Varyans (b) Ortalama hız değerlerinin karşılaştırılması.	56
3.9 YKA algoritmasının blok diyagramı	59
3.10 (a) (b) <i>Chess</i> , (c) (d) <i>Interview</i> ve (e) (f) <i>Windmill</i> videolarının kenar bilgileri çıkarılmış ilk ve son görüntüleri	63
3.11 (a) <i>Chess</i> 768, (b) <i>Chess</i> 1024, (c) <i>Chess</i> 1536, (d) <i>Interview</i> 768, (e) <i>Interview</i> 1024, (f) <i>Interview</i> 1536, (g) <i>Windmill</i> 768, (h) <i>Windmill</i> 1024, (i) <i>Windmill</i> 1536 video görüntülerinin RNSE eğrisi	63
3.12 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Chess</i> video görüntülerinin RNSE değerleri.	68
3.13 (a) 768, (b) 1024, (c) 1536 kbps bit oranıyla kodlanan <i>Windmill</i> , <i>Interview</i> ve <i>Chess</i> videolarının RNSE değerleri	70
3.14 Farklı bit oranlarında kodlanan <i>Windmill</i> , <i>Interview</i> ve <i>Chess</i> videolarının RNSE değerlerinin karşılaştırılması.	71
3.15 Histogram Bölgeleri [76].	72
3.16 Histogram-Resim karşılaştırma [76].	73
3.17 (a) Düşük (b) Yüksek Kontrast [76].	74
3.18 (a) Üst (b) Orta (c)Alt bölge kontrast karşılaştırması [76].	75
3.19 Kontrast Artırma-Azaltma [76].	76
3.20 (a) (b) <i>Chess</i> , (c) (d) <i>Interview</i> ve (e) (f) <i>Windmill</i> videolarının ilk ve son görüntüleri	77
3.21 Kontrast ölçümü algoritması blok diyagramı	78
3.22 (a) <i>Chess</i> 768, (b) <i>Chess</i> 1024, (c) <i>Chess</i> 1536, (d) <i>Interview</i> 768, (e) <i>Interview</i> 1024, (f) <i>Interview</i> 1536, (g) <i>Windmill</i> 768, (h) <i>Windmill</i> 1024, (i) <i>Windmill</i> 1536 video görüntülerinin kontrast eğrisi	80

3.23 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Chess</i> , videolarının kontrast değerleri.	86
3.24 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) sütun, (b) çizgi <i>Windmill</i> , <i>Interview</i> ve <i>Chess</i> videolarının Kontrast değerlerinin karşılaştırılması	87
3.25 Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a) <i>Windmill</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Chess</i> , videolarının HHAA, YKA ve KA değerleri.	89
3.26 (a) <i>HHAA</i> , (b) <i>YKA</i> , (c) <i>KA</i> algoritmalarının farklı bit oranlarında kodlanan <i>Chess</i> , <i>Interview</i> ve <i>Windmill</i> videolar için karşılaştırılması	92
3.27 Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a) <i>Chess</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Windmill</i> , videolarının VKDM sonuçları.	93
3.28 Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a) <i>Chess</i> , (b) <i>Interview</i> , (c) <i>Windmill</i> , videolarının R kare grafikleri.	96
3.29 Ortalama VKDM puanı.	97

KISALTMALAR DİZİNİ

3B	3 Boyutlu
2B	2 Boyutlu
ACR	Absolute Category Rating
ACR-HR	Absolute Category Rating with Hidden Reference
AR	Azaltılmış-Referanslı
ÇB-YBM	Çoklu Boyut Yapısal Benzerlik Metriği
ÇUBÖM	Çift Uyarıcılı Bozulma Ölçeği Metodu
ÇUSKÖ	Çift Uyarıcılı Sürekli Kalite Ölçeği
DH	Derinlik Haritası
DCR	Degradation Category Method
DS	Derinlik Sapması
DSCQS	Double Stimulus Continuous Quality Scale
DSIS	Double stimulus impairment scale
DVD	Digital Versatile Disc
DVK	Dijital Video Kalite
DVQ	Digital Video Quality
EK	Eş Karşılaştırma
EKİ	Evrensel Kalite İndeksi
FR	Full Reference
GAKKD	Güven Aralıkları Kesişimi Kalite Değerlendirme
GDM	Görsel Dikkat Modeli
GH	Görüntü Hızı
HHAA	Hareket ve Hız Analizi Algoritması
HV	Hareket Vektörü
HVS	Human Visual System

ICIQ	Intersection of Confidence Intervals Quality
ITU	International Telecommunication Union
İGS	İnsan Görme Sistemi
İKM	İndirgeme Kategori Metodu
JVSM	Joint Scalable Video Model
KA	Kontrast Algoritması
KFYBM	Kutu Filtreli Yapısal Benzerlik Metriği
KOH	Karesel Ortalama Hata
MAD	Mean Absolute Deviation
MKS	Mutlak Kategori Skorlaması
MMS	Medyan Mutlak Sapması
MOS	Mean Opinion Score
MS-SSIM	Multi Scale Structural Similarity Index
MSE	Mean Squared Error
MV	Motion Vector
NSE	Non Shift Edge
ODS	Ortalama Değerlendirme Skoru
PC	Pair Comparison
PRR	Pixel Recovery Rate
PSNR	Peak-Signal-to-Noise-Ratio
RNSE	Ratio of Non Shift Edge
RR	Reduced Reference
SAMVIQ	Subjective Assessment Methodology for Video Quality
SD	Standart Definition
SSCQE	Single Stimulus Continuous Quality Evaluation
SSIM	Structural Similarity Index
SSIM B	Structural Similarity Metric Box Filter
TR	Tam-Referanslı
TSGO	Tepe Sinyal Görüntü Oranı

TUSKD	Tek Uyarıcılı Sürekli Kalite Değerlendirme
UQI	Universal Quality Index
UTB	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
VAM	Visual Attention Model
VQA	Video Quality Assessment
VKD	Video Kalite Değerlendirmesi
VKM	Video Kalite Metriği
VKUG	Video Kalite Uzmanları Grubu
VKDM	Video Kalite Değerlendirme Metriği
VKÖDM	Video Kalitesi İçin Özel Değerlendirme Metodolojisi
VQEG	Video Quality Experts Group
VQM	Video Quality Metric
YBM	Yapısal Benzerlik Metriği
YKA	Yapısal Karmaşıklık Algoritması

1. GİRİŞ

1.1. Genel

3 Boyutlu (3B) video teknolojisi geçmiş on yılda henüz yeni yeni piyasada yeri almış olsa da 3B görme hissinin insanlarda durumun içerisine girme, oradaymış gibi hissetme gibi duyguları yaşatmasından ötürü bu teknolojiye olan ilgi hızla artmıştır. 3B Film, 3B TV ve 3B video oyunları bu teknolojinin uygulamalarına örneklerdir. 3B filmler 2005 yılında sektöre giriş yapmasına rağmen A.B.D’de 2008 yılında en çok izlenen 20 film içerisine “Bolt” girmiş, 2009 yılında yine aynı listede bu kez ikinci sıradan “Avatar”, dördüncü sıradan “Up” olmak üzere toplam üç film ile yer almayı başarmıştır. 2010 yılında ise bu listede 8 adet 3B film bulunurken aynı zamanda ilk üç sırayı da “Toy Story 3”, “Avatar”, “Alice in Wonderland” ile 3B filmler oluşturmuştur. Bunlara paralel olarak sinema gişe hasılatlarının düşüşe geçtiği bir dönemde 3B filmler gelirlerin artmasını sağlamış hatta elde edilen gelirin de %50 ile %70’i 3B filmler sayesinde olmuştur Bu gelişmeler sadece A.B.D’de değil aynı zamanda Avrupa ve uzak doğuda da gözlenmiştir [1].

3B filmlerin sinema da izlenme oranlarının bu derece de yüksek olmasının yanı sıra 3B DVD satış miktarları da aynı derece de yüksektir. 3B DVD satış miktarlarında 3B TV satış sayılarını etkilediğinden ötürü insanların bu teknolojiye olan ilgileri birbirini besleyen bir sistem oluşmasını sağlamıştır. Bunların yanı sıra konser performans DVD’leri de artık 3B versiyonları ile piyasaya sürülmektedir ve 2008’den bu yana düzenlenen listede en yüksek kar eden performans “*Michael Jackson’s This Is It*” ile 3B bir ürüne aittir [1].

Ek olarak 3B video teknolojisine olan bu ilgi 3B video oyunlarının da yaygınlaşmasını sağlamıştır. 3B video oyunları sektörüne bir diğer olumlu etki ise Kinect, PS3 Move ve Xbox 360 gibi hareket tespit teknolojisi tabanlı video konsollarının piyasaya girip yüksek bir pazar payı elde etmesidir. 3B video teknolojisinin yaygınlaşmasının bir diğer göstergesi de 3B kameralara olan ilgi ile açıklanabilir. Yapılan bir araştırmada

3B dijital kamera fiyatı 200 doların altında olursa kişilerin %90'ının, 500 doların altında olursa %50 sinin dijital kamera almak istediğini ortaya koymuştur [1].

Son olarak 3B video teknolojilerinin yaygınlaşmasının belki de en çarpıcı istatistiği ise İngiltere'de 2006-2013 yıllarında yapılan bir araştırma ortaya koymuştur. 2006 yılında 3B dijital ekran sayısı sadece 5 iken 2013 yılında bu rakam 1655'e ulaşmıştır. Aslında bu istatistiği anlamlı kılan şey artış hızından çok 2006 yılında 3B dijital ekran sayısı toplam dijital ekran sayısının sadece %3,4'ü iken 2013 yılında bu oran %42.8 ulaşması olmuştur [2].

3B teknolojisinin bu hızla yaygınlaşmasıyla 3B video kodlama, iletim, saklama, teknolojilerinde ilerlemeye yol açmasının yanı sıra 3B Videola Kalite Değerlendirmesini de (VKD) elzem kılmıştır. 3B VKD' sinin sonuçları verimli video kodlama, iletimi ve saklanmasında önemli rol oynamaktadır [3].

Bu bölümün ilerleyen kısımlarında 3B görmenin ipuçları, 3B görüntünün nasıl elde edildiği ve 3B videonun nasıl görselleştirildiğini anlatıp sonraki bölümde ise 3B VKD için literatürde bulunan 2B VKD metriklerini inceleyeceğiz. Daha sonra oluşturduğumuz algoritmalar ışığında geliştirilen metriğimiz tanıtılacak, nesnel ve öznel testler ile korelasyonu test edilecektir. Son olarak, testler neticesinde elde edilen metriğin başarısı irdelenecektir.

1.2. Derinlik Algılaması ve 3B Görme

3B görme insan beyninde iki gözden elde edilen ayrı ayrı görüntülerin birleştirilmesiyle sağlanır. Yani, aynı cisim bir gözümüz tarafından farklı bir açıdan, diğer gözümüzle daha farklı bir açıdan iki ayrı 2B görüntü olarak elde edilir ve bu 2B görüntüler beyinde birleştirilerek 3B görüntü elde edilir. Wheatstone *stereoskopik* görüntünün temellerini ifade ederken aralarında ufak derece farklılıklar olacak şekilde çizilen iki resmin her bir göze göre filtrelenip bu resimlerin o göze kendi açısından çekilmiş görüntü göstermek ve derinlik algısını oluşturmak olarak tanımlamıştır [4].

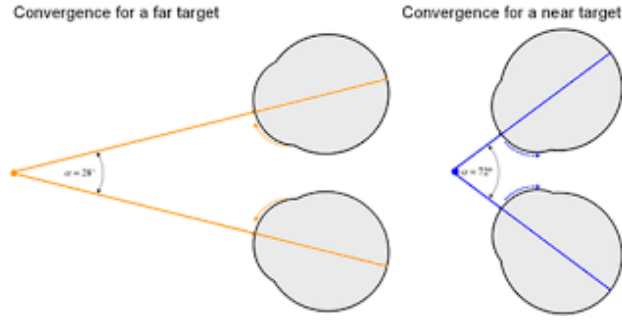
İnsanlar ve doğada avlanan birçok canlı iki adet göze sahiptir. Bu *binoküler* (iki gözle) görüş derinlik algısını artırarak doğada avcının avı ile arasındaki mesafeyi hesaplamasını sağlar. Ayrıca derinlik algısı birçok *monoküler* (tek gözle algılanan ipuçları) ipuçlarından oluşur. Bu ipuçları daha iyi 3B hissiyatı için önemlidir yani beynimizin gördüğümüz sahnenin 2B algısıyla stereoskopik algısı birbiriyle yakından ilişkilidir [5].

Yani İnsan Görme Sistemi (İGS) derinlik algısını tek bir gözün bile yeterli olduğu *monoküler* ipuçlardan ve iki gözün birlikte çalıştığı derinlik bilgisi içeren *binoküler* ipuçlarından yararlanır [4]. Bu ipuçları yardımıyla görülen nesnelerin bize uzaklığını algılayabiliriz. Aşağıda ise burada bahsettiğimiz monoküler ve binoküler ipuçlarından stereoskopik (3B) görüşün nasıl elde edildiğinden bahsedilecektir.

1.2.1. Binoküler İpuçları

Derinliği algılayabilmemiz için bazı ipuçlarının ortaya çıkması için iki gözün birlikte hareket etmesi gerekir [4]. Binoküler ipuçlarının meydana gelmesinde aşağıda detayları açıklanan yakınsama ve retina eşitsizliği olmak üzere iki mekanizma etkili olmaktadır:

- i. Yakınsama: Göze yaklaşan nesnelerin daha büyük açıyla gözden uzaklaşan nesnelerin daha küçük açıyla görüş oluşturması durumudur. Şekil 1.1’de de görüleceği gibi göze yakın olan nesne büyük büyük açıya, gözden uzak olan nesne ise küçük açıya sahiptir. Yani nesneler göze olan yakınlıkları mertebesinde açı farklılıkları oluşturur. Bu durumda yüksek açılarda görüşün sağlandığı yani yakın nesnelerin derinlik algısını artırdığı gözlemlenmiştir. Beynimiz de bu yakınsama açı bilgisini nesnenin bizden ne kadar uzakta olduğunu anlamak için bir ipucu olarak kullanır. Göze gelen görüntülerde görüş açısının azaldığı yani uzaktaki nesnelere derinlik algısının azalacağı ve hatta takribi 10 metreden sonra bu etkinin kaybolacağı ortaya konmuştur [11].



Şekil 1.1 Yakınsama [10].

- ii. Stereopsis (Retinal Eşitsizlik): İki farklı görüntüden derinlik bilgisine yani üçüncü boyuta ulaşma yöntemidir. Beynimiz iki gözümüzden gelen farklı görüntüleri birleştirerek aynı düzlemde olduğunu çıkarır ve derinlik bilgisini elde eder.

1.2.2. Monoküler İpuçları

Monoküler ipuçları sayesinde tek bir gözle bile bakılan nesnelerin ne kadar uzaklıkta olduğu algılanabilmektedir. Benzer şekilde bu ipuçları sayesinde 2B görüntülerde derinlik bilgisi kolayca elde edilebilmektedir [11]. Bu ipuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Önceden Sahip Olunan Boyut Bilgisi: Büyüklüğü bilinen bir nesnenin yanında ya da yakınındaki nesnenin büyüklüğünün ya da mesafesinin anlaşılmasıdır. Örneğin Şekil 1.2'de bulunan kişi ile Taj Mahal aynı büyüklükte gözükmektedir. Fakat biz Tac Mahal'in büyüklüğünü bildiğimiz için resimdeki kişinin daha önde olduğunu anlayabiliriz [11].



Şekil 1.2 Tac Mahal [9].

- 2) Oklüzyon: Bir fotoğraftaki iki nesneden biri diğerinin önünü kapatıyorsa önceki nesne arkadaki nesneden daha önde/yakın gözükür. Şekil 1.3’te bulunan resimdeki piyonlar arkada bulunan kale, at, vezir, şah gibi taşların bir kısmını kapatmış olması sebebiyle piyonların diğer taşlardan bize daha yakın olduğunu söyleyebiliriz. Oklüzyon resimdeki nesnenin göreceli mesafesini tahmin etmemize yardım eder [11].



Şekil 1.3 Satranç [9].

- 3) Lineer Perspektif: Uzak mesafedeki nesnelere yakın mesafede bulunan nesnelere göre daha küçük gözükür. Paralel çizgiler mesafe arttıkça birbirine yaklaşır gibi görünür. Bu etki uzun ve düz bir yola ya da uzun bir binaya/kuleye bakıldığında çok net hissedilir. Şekil 1.4’de bulunan resimdeki resimde de görüldüğü üzere paralel kolonlar uzaklaştıkça birbirine yaklaşmata ve derinlik algısı oluşturmaktadır [12].



Şekil 1.4 Yerebatan sarnıcı [9].

- 4) Doku meyili: Zeminde bulunan düzenli model ya da desenlere göre yerleşimleri ya da mesafeleri hizalayabiliriz ya da nesnelerin yerleri hakkında bilgi sahibi oluruz. Bize yakın alanlarda desenlerin daha geniş ve özelliklerinin daha büyük olduğunu da farketmekteyiz. Şekil 1.5’ te bulunan resimde kaldırım taşları insanların ve nesnelerin uzaklığı ve birbirleri arasındaki yeri hakkında bilgi vermektedir. Aynı zamanda hem dokuların yoğunluğu/sıklığı hem de perspektif bize mesafeleri anlamamıza yardımcı olur [11].



Şekil 1.5 Arnavut kaldırımı [9].

- 5) Hava kalitesi: Uzaktaki nesnelere bazen sis, pus gibi hava olayları nedeniyle gizlenir fakat yakındaki cisimler halen rahatlıkla gözükür. Bu etki de bize mesafe bilgisi hisseyatını verir [11]. Şekil 1.6’da görüleceği gibi solda bulunan ağaç net gözükmekte sis etkisinin az olduğu hissedilmekte dolayısıyla bu ağacın bize daha yakın olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca resmin sağında bulunan

dal ve yaprakları görülen ağaç ise sisten dolayı net görülmemekte ve bu durum bize ağacın bizden uzakta olduğu hissiyatını vermektedir.



Şekil 1.6 Sisli hava [9].

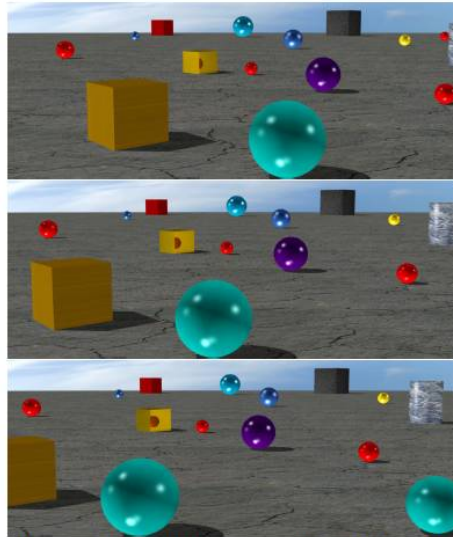
- 6) Açıklık: Tüm ayrıntıları ile görebildiğimiz bir nesneyi yakında, sadece kenar çizgileri ile görebildiğimiz bir nesneyi ise daha uzaktaymış gibi algılarız. Örneğin, çevremizdeki dağlar hava puslu olduğunda uzaktaymış, açık olduğunda yakındaymış gibi görünürler. Detaylarıyla gördüğümüz nesnelere daha yakında, ana hatlarıyla gördüğümüz nesnelere ise daha uzakta algılamamız, derinlik algısına yol açan monoküler bir ipucu oluşturmaktadır [11].
- 7) Yakınsama: Biz (gerçek dünyada) kendimize yakın bir cisme baktığımızda gözümüz cismi net görebilmek için iki hareket yapmaktadır. İlk olarak gözümüz içe doğru yakınsar böylece her bir göz görmek istediğimiz cisme odaklanmayı amaçlar. İkinci olarak, gözümüzün lenslerinin cismin şekline odaklanmasını ayarlamak için göz kaslarımızın yaptığı hareket işlemi akomodasyon işlemi olarak adlandırılır. Göz kaslarımızın beynimize farklı nesnelere odaklanma adına gönderdiği geri bildirim gördüğümüz her bir nesnenin mesafesi hakkında beynimize bilgi verir [12].
- 8) Ölçü perspektifi: Boyutları aynı olan nesnelere yakın olanın daha büyük uzakta olanın daha küçük olmasıdır. Şekil 1.7'de görülen dört adet uçaktan

küçük olanın en uzaktadır [12]. Şekil 1.7’de aynı büyüklüğe sahip olduğunu bildiğimiz uçaklar sıralanmış, küçük gözükene uçağın en uzakta, büyük gözükene uçağın ise en yakında olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1.7 Türk Yıldızları [9].

- 9) Hareket paralaksı: Hareket ettiğimizde yakında bulunan nesnelerin uzakta bulunan nesnelere göre bağıl yer değiştirmesi daha fazladır. Şekil 1.8’de resimde kamera soldan sağa doğru hareket ettiğinde yakında bulunan nesneler uzakta bulunan nesnelere göre daha fazla yer değiştirmiş gibi gözükmektedir [11].



Şekil 1.8 Hareket Paralaksı: Kamera hareketi [11].

10) Gölge etkisi/dağılımı: Nesnenin yüzeye yaklaştığını mı yoksa yüzeyden uzaklaştığını mı anlamamızı sağlar. Ayrıca ışığın geliş açısına bağlı olarak nesnelerin bazı kısımlarının daha net, bazı kısımlarının ise gölgeli olarak görülmesi, derinlik algısına yol açan monoküler bir ipucu oluşturmaktadır. Işık ve karanlık dağılımı derinlik imajı yaratır; aydınlık kenar daha yakındır. Şekil 1.9'da görüldüğü üzere elmanın ışık geliş açısından baktığımız düşünüldüğünde parlak bölgenin yakın, gölgenin olduğu bölgenin ise uzak olduğu hissayatını vermektedir.



Şekil 1.9 Gölge Dağılımlı Elma [9].

Tüm bu ipuçları biz bir sahneyi tek gözle izlese de derinlik bilgisi sağlamaktadır. Bunlara ek olarak 2B resimlere bakıldığında da derinlik hissiyatı konusunda yardımcı olur. Yıllardır film yapımcıları ve ressamlar bu ipuçlarının önemini farkını anlamış, filmlere, resimlere fotoğraflara gerçeklik ve derinlik hissayatı katmak için bu ipuçlarını kullanmışlardır.

2B filmler 3B sahnelerin düz 2B görüntülerin sahnelenmesiyle elde edilir. Yine 2B film izlerken aynı mesafede olmamıza rağmen gözlerimiz ekrana odaklanır ve ekrana odaklanmaya devam eder. Tabii ki, derinliği hissedebilmemiz için 2 göze ihtiyacımız yoktur fakat 3B görebilmemiz için iki gözümüze de kesinlikle ihtiyacımız vardır. 3B filmler görüntüleri çiftleyerek gözümüze doğru zamanda ve doğru sıralamada göstermeye çalışır. Nesnelere ve sahneler farklı uzaklıkta gözükür ve her şey planlandığı gibi devam ederse izleyici sahne ve nesnelere yerinde hissederek ve 3B algısı oluşur [4].

1.3. 3B Görüntü Eldesi

Önceki bölümde 3B görmenin iki gözün farklı açılardan bakmasıyla elde edilen 2B görüntülerin beyinde birleştirilmesi sonucu oluşturulduğundan bahsetmiştik. Bu bölümde ise 3B görüntünün sıklıkla hangi teknikler kullanılarak elde edildiğinden bahsedeceğiz.

1.3.1. Sağ + Sol Görüntü

Bölüm 1.2’de de bahsedildiği gibi İGS iki gözün farklı açılardan elde ettiği 2B görüntüleri birleştirmesi ile 3B olarak sahneler. 3B görüntünün algılanabilmesi yani oradaymış hissiyatının yaratılması ve sahnenin beynimize aynı görüntüyü verebilmesi için gözümüze sahnelerin ayrı ayrı ve doğru bir açıyla gelmesi gerekmektedir. Bazı 3B kameralar iki adet birbirine yatay olarak paralel hizalanmış arasında belirli bir mesafe bulunan lense sahiptir. Bazı 3B kameralar ise tek kameraya ya da aynı donanıma sahip iki kameraya sahiptir.

Her bir göze aynı sahnenin farklı açılar ile düşmesini önce kayıt edip ardından kayıt edilen görüntülerde sahneler her bir gözümüze doğru sıra ve açıyla gelecek şekilde yeniden oluşturularak gösterilir. İki göz arasındaki ortalama mesafe 65 mm kadardır. Bu mesafe normal bir insanın ikii gözü arasındaki mesafe kadardır. 3B kamera sistemlerindeki en önemli değişkenlerden biri de bu mesafedir. Dolayısıyla İGS’ye en yakın hissiyatı verebilmek için kameraların lensleri arasındaki mesafede 65 mm olarak ayarlanır [14].

3B kameralardaki en önemli parametrelerinden bir diğeri ise yakınsama açısıdır. 3B kamera lensleri birbirlerine paralel olarak hizalanmışlardır. Dolayısıyla tüm cisimler ekranın önünde gözükmektedir. Sonsuz uzaklıktaki cisimler de ekranın üzerinde görülmektedir. Bu yapıya ek olarak daha güçlü 3B etkisi yaratmak için kamera lensleri yakınsama açısına göre hizalanmalıdır. Bu kurulumla beraber, her iki lensin yakınsama optik eksenini mesafesindeki nesnelere ekran üzerinde gözükecektir. Yakın cisimler ekranın önünde, uzak cisimler ekranın arkasında gözükecektir. Şekil 1.10’da görülen Panasonic AG3DA1 kamerada video çeken kişinin tercihine göre lenslerin

yakınsama açısının ayarlanmasına imkân tanımıştır. Şekildeki kamera ile yapılan kayıtlar 65 mm mesafeli iki farklı lensten elde edilen görüntünün birleştirilmesi ile kaydedilerek 3B görüntü elde edilmiş olur.



Şekil 1.10 Panasonic AG3DA1 [9].

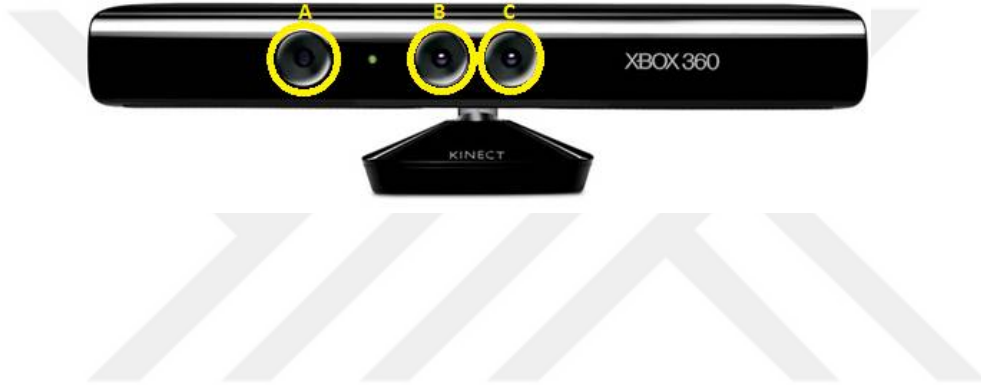
1.3.2. 2B Video + Derinlik Haritası (2B+DH)

Sağ ve sol görüntünün birleştirilerek 3B video üretiminden başka 2B videoya DH ekleyerek 3B video üretimi gerçekleştirilebilir. Bu yöntemle 3B video 2B videolara DH'larının senkronize bir şekilde eklenerek elde edilir. Ayrıca DH'ları 2B videolara kıyasla daha az bit oranına ihtiyaç duyduğundan kodlama yüksek verimliliğe sahiptir. Dolayısıyla 2B+DH temelli 3B videolar kodlama, iletim ve sıkıştırma teknolojileri ile olan uyumluluğu sebebiyle sağ ve sol görüntü temelli stereoskopik videolara kıyasla daha geniş ölçekte kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen 2B video ile DH arasındaki senkronizasyon işlemi bunların uzamsal ve zamansal niteliklerinin aynı olmasından dolayı 2B video ile DH'nın bağlantılı olduğu her bir pikselin birbirine karşılık getirilmesi yapılır. DH'larındaki derinlik mesafesi 8 bit ile nicemlendirilir. Yani, 0 ile 255 arasında bulunan gri renk piksel değerleri, izleyiciye en uzak derinlik bilgisi verilirken 255, izleyiciye en yakın

bilgisi verilirken 0 değerini alır. Ekranda gösterilmek için ise 2B video ile DH yukarıda bahsettiğimiz bir stereo çift gibi işlenir [13,18].

Bu yöntemle piyasada video oyunlarını seven insanların yakından bildiğı *kinect* cihazı üzerinden 2B ve DH temelli 3B videonun nasıl elde edildiğı anlatılacaktır. Şekil 1.11’da gösterilen *kinect* cihazı 2B video çekimi yapan bir kameraya, DH elde edebilmek için ise derinlik kamerası ve kızılötesi kaynağına sahiptir.



Şekil 1.11 Kinect: (A) Kızılötesi kaynak, (B) 2B Kamera, (C) Derinlik kamerası [11].

Bu cihaz renkli videoyu 2B kamera ile kaydederken, kızılötesi kaynak elektromanyetik bir dalga göndererek nesnelere çarpıp yansımalarıyla derinlik kamerasına bu bilgileri ulaştırır. Bu bilgilerin gri tonda sahnelenmesiyle DH elde edilir.

1.3.3. 2B-3B Dönüşümü

3B teknolojisinin gelişmesine paralel olarak 3B endüstrinde ilerlemeler meydana gelmiş fakat 3B video içeriğı 3B gösterim cihazlarına göre daha geride kalmıştır. Bunun sebebi ise 3B video içeriğini üretecek olan kameraların pahalı ve teknik kurulumunun güç olmasıdır. 2B-3B dönüşümü diğer yöntemlere göre daha ucuz

olması ve dönüşüm teknolojisinin ve dönüşümde kullanılan yazılımların gelişmesiyle 2B-3B dönüşümü popüler hale gelmiştir.

3B animasyonların en büyük avantajı yazılım vasıtasıyla 2B içeriğin 3B olarak elde edilebilmesi ve izlenebilmesidir. Filmin 3B sürümünün oluşturulabilmesi için, filmin iki aşamadan geçmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki her bir göz için görsel kamera perspektifi oynatarak elde edilirken ikincisi ise stüdyo ortamında her bir taraf için 2.5 inçlik görsel kamera perspektifi oynatılarak elde edilir. Dolayısıyla her bir görüntünün 3B'ye dönüştürülmesi bu karmaşıklıktan ötürü uzun zaman almaktadır. Filmin ikinci perspektifinin oluşturulma maliyeti filmi çekme maliyetinin yanında daha küçük olmasına karşın iyi bir 3B film elde edebilmek için ikinci sahneleme yolu ile 3B sürümünün ek maliyeti kazancından daha düşüktür [15].

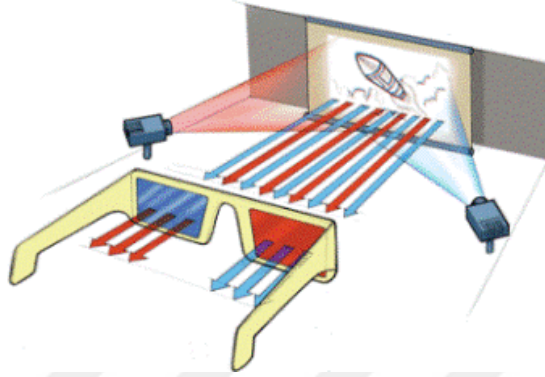
1.4. 3B Video Görselleştirilmesi

3B video iki tane zaman hizalı video kanalı içermektedir ve bu kanalların her biri bir göz içindir. 3B videoyu görebilmek için görüntü teknolojisi ve 3B gözlükler sağ göz sadece kendisi için atanan görüntüyü, sol göz de yine sadece kendisi için atanan görüntüyü algılamaktadır. Bu zorunluluğu yerine getirmek için birçok farklı teknolojiler geliştirilmiş, her bir teknolojinin farklı yararları, engelleri ve maliyetleri bulunmaktadır. Kullanılacak ortama ve duruma göre kullanılacak yöntem belirlenmektedir [11].

1.4.1. Anagram Yöntem ile 3B Gösterim

3B teknolojisinin sinema ortamına ilk yansıtıldığı yöntemlerden biridir. Farklı açıdan çekilmiş görüntüler izleyicilerin kullandığı renk filtreli gözlüklere göre filtrelenmektedir. Filtrelenmiş görüntüler farklı iki yansıtıcı ile perdeye yansıtılmaktadır. Perdede oluşan görüntüye paralel olarak izleyiciler renk filtreli gözlükler ile görüntüyü 3B olarak izlemektedir. İzleyiciler mavi-kırmızı veya yeşil-kırmızı filtrelerden oluşan gözlükler kullanabilmektedir. Gözlük seçimi görüntü

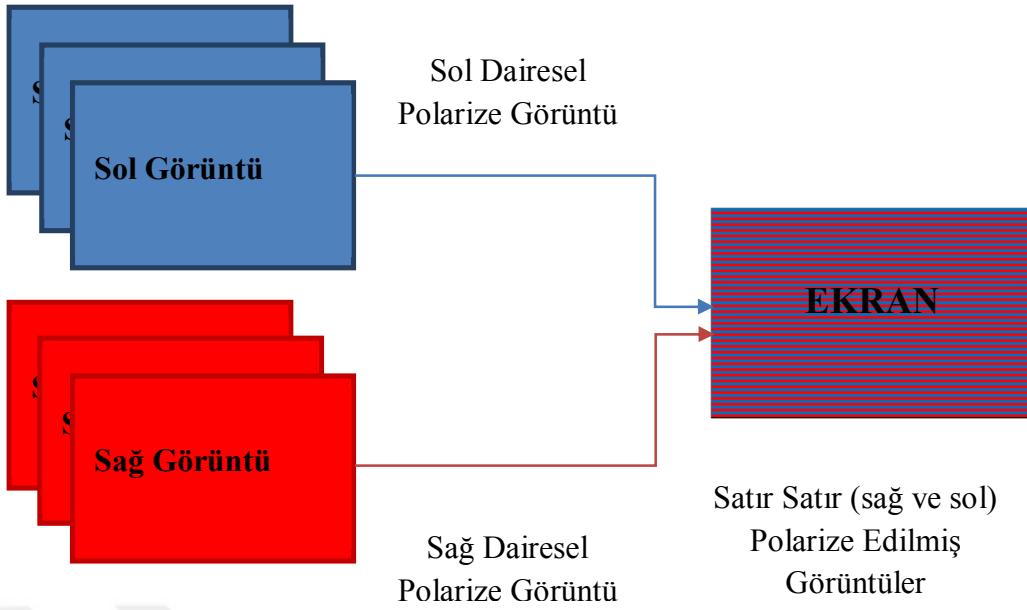
yansıtıcıların geçmiş olduğu renk filtrelerine g6re belirlenmektedir. Farklı filtreler farklı g6zlere giden g6runt6leri ayırt ederek insan algısında derinlik olgusunu oluşturmaktadır. Şekil 1.12’ de g6r6ld6đ6 izleyici g6zl6k yardımı ile g6sterimi izleyebilmektedir.



Şekil 1.12 Anagram 3B video g6sterimi [16].

1.4.2. Polarize Y6ntem ile 3B G6sterim

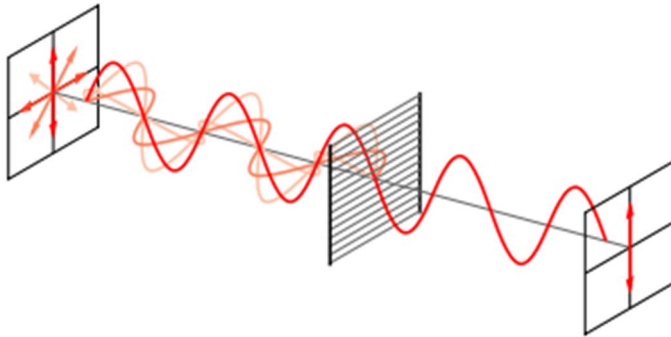
Polarizasyon işiğin d6zlemde farklı dairesel salımlar ger6ekleştirmesidir. Anagram yapıda g6runt6 filtrelenerek yansıtılırken polarizasyon yardımı ile 3B g6sterim 6st 6ste binmiş işikların g6sterimi ile elde edilir. G6n6m6zde kullanılan 3B g6sterimler bu y6ntem ile elde edilmektedir. İzleyiciye g6runt6 sunan cihaz kırmızı, yeşil ve mavi renkte dalga boylarına sahip g6runt6leri yansıtılmaktadır. Kullanılan polarize cam g6zl6kler bu ayrımı ger6ekleştirerek derinlik algısının oluşmasını sağlar [16]. G6runt6n6n ekrana yansımасы Şekil 1.13’ de g6r6ld6đ6 gibi tasarlanmaktadır. İzleyicinin polarize y6ntemi ile izlemesi de bu Şekilde g6sterilmiştir.



Şekil 1.13 Polarize yöntem ile 3B videonun ekrana yansımaları

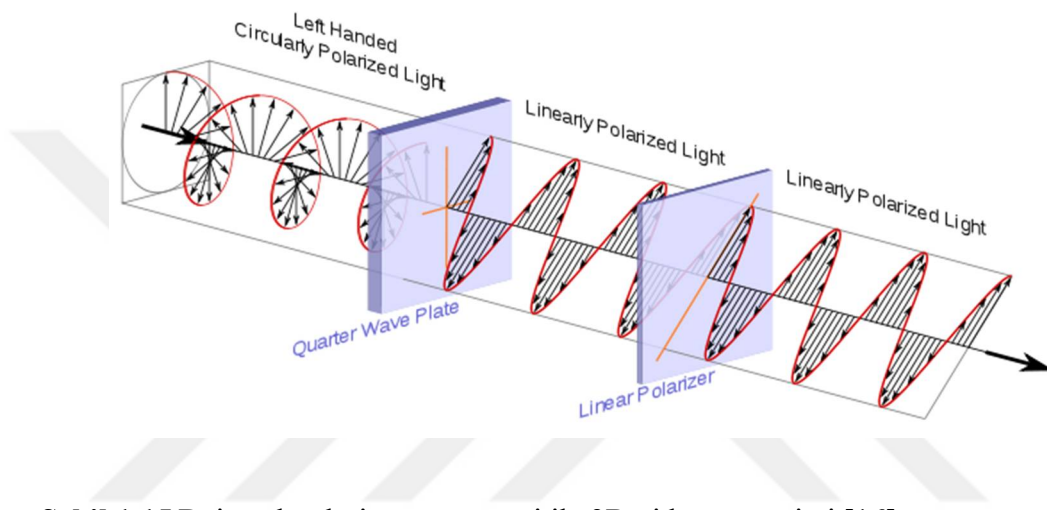
“Pasif 3B” diye de adlandırılan polarize gösterim doğrusal ve dairesel gözlükler ile iki farklı şekilde gösterim yapmaktadır.

Doğrusal gözlüklerde üst üste bindirilmiş ışık bir göze yatay, diğer göze dikey gelen ışıkları görmektedir. Bu işlem aslında camda bulunan filtre sayesinde yapılmaktadır. Yani her bir göze gelen ışık camda bulunan filtre yardımıyla filtrelenerek benzer ışıkları görebilirken diğer ışıkları filtreler. Bahsedilen bu yapı şekil 1.14’ de gösterilmektedir [16].



Şekil 1.14 Doğrusal polarizasyon yöntemi ile 3B video gösterimi [16].

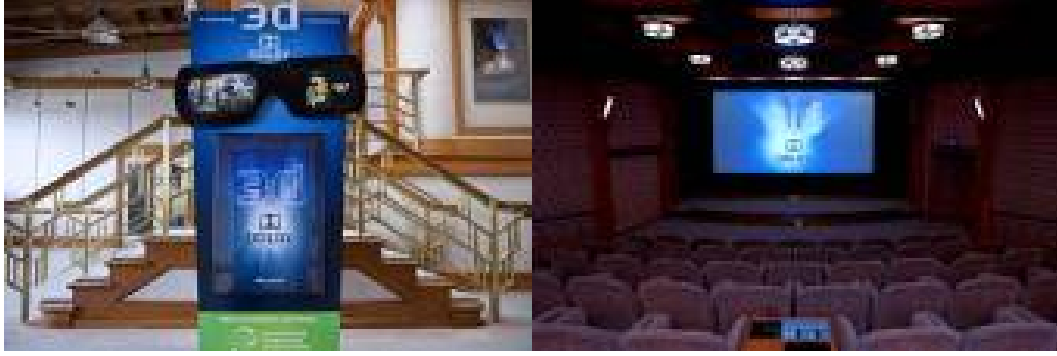
Teknolojinin gelişmesiyle polarize yöntemde daha iyi görüntüyü sağlayabilmek için dairesel ışıklar gönderilmeye başlanmıştır. Bu yapı da, doğrusal yöntemin aksine ışıklar saat yönü ve saat yönü tersi olmak üzere iki farklı dairesel ışık gönderilerek polarize görüntü elde edilir. Günümüzde kullanılan 3B gözlüklerde de dairesel polarizasyon sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca bahsettiğimiz yapıya ait görsel Şekil 1.15'te gösterilmektedir [16].



Şekil 1.15 Dairesel polarizasyon yöntemi ile 3B video gösterimi [16].

1.4.3. Aktif Yöntem ile 3B Gösterim

3B video gösterimde kullanılan bir diğer yöntem aktif gözlük ile gösterimdir. Yüksek çözünürlük ve kalitede görüntülerin gösteriminde kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde Kanada menşeli IMAX firmasının kullandığı teknolojidir. Polarize yöntemden daha karmaşık, maliyetli ve zor uygulanan bir yöntemdir. Şekil 1.16'da gösterildiği gibi kullanılan gözlük, sağ ve sol görüntüler arası aktif bir geçiş ve karartma yöntemi uygulanmaktadır. Buna ek olarak camlar gelen sinyal ile senkronize edilerek ekran gözlük arasındaki aktif yapıyı oluşturmaktadır. Gözlük soldan görüntü alınca sağ, sağdan görüntü alınca sol taraf karartılır.



Şekil 1.16 Aktif 3B yöntemi ile video gösterimi [9].

Polarize gözlüklere nazaran aktif gözlükler daha gelişmiş teknoloji olmasına rağmen dezavantajları da bulunmaktadır. Aktif gözlükler, doğal renkleri tam çözünürlükte sunmaktadır. Ekran ile mükemmel uyum sağlayarak kalite olgusunu artırmaktadır. Daha pahalıdır, izleyici açısı önemsizdir ve görüntü arası geçişlerde kesikler oluşabilmektedir. Polarize camlarda görüntü akışı süreklidir. Görüntü renk çözünürlüğünde tam performans sağlamaz, filtreler ışığı tam olarak geçiremez ve izleyici açısı ve pozisyonu önemlidir [11].

1.4.4. 3B Gözlüksüz Gösterim

3B görüntü gösteriminin yaygınlaşması ve ticari olarak piyasada yer tutabilmesi için gözlüksüz kullanımın yaygınlaşması gerektiği otoriteler tarafından kabul görmektedir. Otostereoskopik olarak adlandırılan bu ekranlar çok yüksek çözünürlükte ve elliden fazla farklı açıdan elde edilen görüntülerin işlenmesi oluşmaktadır. Japonya ulusal bilgi ve iletişim teknoloji tarafından geliştirilen ekran 57 farklı açıdan elde edilen görüntülerin işlenmesi ile elde edilmiştir. Gelecekte yaygınlaşması beklenen bu teknoloji günümüzde çok pahalı olduğundan izleyici ile buluşması zaman alacaktır [11].

2. LİTERATÜRDEKİ 3B VKD YÖNTEMLERİ

3B videonun derinlik algısı özelliğinin bulunması, 3B videoyu 2B videodan ayıran en önemli nitelik olduğundan önceki bölümde bahsetmiştik. Bu sebepten ötürü son yıllarda araştırmacıların ve kullanıcıların 3B videolara ilgisi üst seviyelere çıkmıştır. Bu ilgi beraberinde literatürde 3B VKD ile ilgili çalışmaları beraberinde getirmiştir. 3B VKD çalışmalarının gelişmesi, 3B video teknolojisinin ilerlemesi ve kullanıcı tarafında 3B video derinlik algısının artması birbirine paralel olarak daha iyi bir hal alacaktır.

Literatürde 3B VKD için insanların görsel değerlendirmelerinin alındığı öznel değerlendirmeler ve bilgisayar programları destekli matematiksel olarak ölçen nesnel değerlendirmeler bulunmaktadır. Bölüm 2.1'de anlatılacak olan öznel testler, literatürde 3B VKD için yeterince güvenilir bir metriğin bulunmaması sebebiyle ve insanların görsel değerlendirmelerinin kalite değerlendirmesine etkili şekilde iletilmesi nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Fakat öznel testlerin test platformunun kurulması, izleyici seçimi ve değerlendirme süreleri gibi dezavantajları sebebiyle teknolojinin gelişmesine ve ticari bir ürün gelişimine negatif etkileri vardır. Ayrıca bu testlerin zaman alıcı olması ve gerçek zamanlı kalite değerlendirmesinin imkânsız kılınması sebebiyle 3B nesnel bir VKD metriği geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir [19, 25].

Bu bölümde 3B VKD için literatürde bulunan nesnel ve öznel VKD yöntemleri tanıtılıp detaylı bilgi verilecektir.

2.1. 3B VKD Öznel Yöntemler

Öznel kalite değerlendirme metotları, insanı ölçme aracı olarak kullanarak 3B videoyu kalite bakımından değerlendirir. Öznel değerlendirme yöntemleri, değerlendirme yöntemine uygun profilde bulunan izleyicilerin videolara vermiş olduğu puanlar neticesinde yapılan bir kalite değerlendirmesi yapılır. Bu ölçütler izleyici tarafından

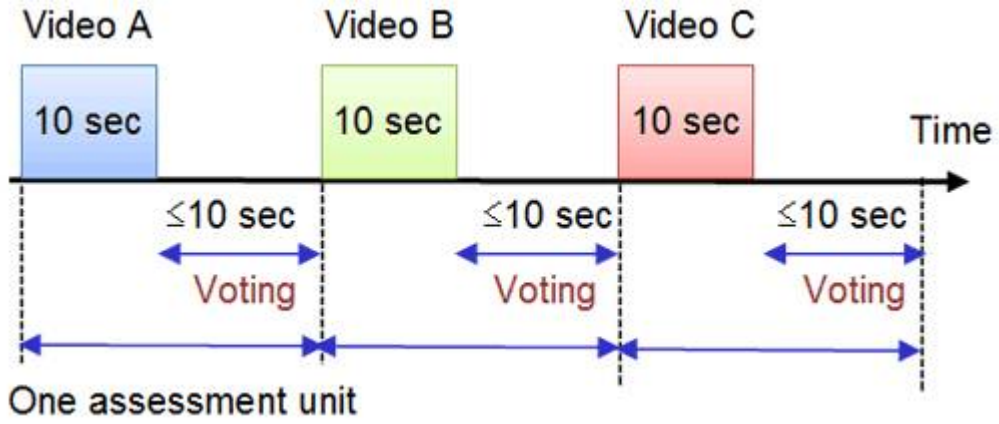
direkt olarak yapılan değerlendirmeler olduğu için araştırmacılar tarafından genel geçer kabul gormuş ve doğru sonuçlar elde edilmiş yöntemdir. Bahsedildiği üzere bu yöntem insanı temel almasından, test koşullarının sağlanması ve eğitimli izleyici bulma zorluklarının yaşanmasından ötürü maliyetli, vakit alıcı ve zahmetli bir sürece sahiptir. Bu süreçlerden ötürü bir standardizasyon kriterleri belirlemesi elzem hale gelmiş ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (UTB)(International Telecommunication Union-ITU) tarafından standardize edilmiştir [26].

Yöntem gerekleştirilirmeden önce kalite değerlendirilmesi yapılacak olan videolar seçilir. Test koşullarının sağlanması için test ortamının aydınlığı, ekran ozunurluğu ve görüş mesafesi gibi değişkenler ayarlanır. Test metodu belirlendikten sonra teste katılacak kişiiler seçilir. Seçilen izleyicilere orijial video ve bu videonun farklı parametrelerde kodlanmış eşitleri izletilir. İzleyiciler hangi parametrede kodlanmış video olduğunu bilmeden video ile ilgili izlenimlerini bildirir. Nesnel değerlendirme sonuçları farklı izleyicilerin izlenimlerinin ortalamasıyla elde edilir. Bu izlenimlerini yöntemde belirlenen öznel değerlendirme olutleri Ortalama Değerlendirme Skoru (ODS) (Mean Opinion Score-MOS)) temelinde belirtir. Yöntemde videonun kalitesi genellikle 1 ila 5 (5:çok iyi, 4:İyi, 3:Orta, 2:Zayıf, 1:Kötü) arasında seviyelendirir [20, 27].

2.1.1. Mutlak Kategori Skorlaması (MKS) (Absolute Category Rating-ACR) Metodu

ACR metodu ITU tarafından P.910 revizyonu ile sunulmuş aynı zamanda tek uyarımlı (stimuli) metot olarak da bilinen haberleşme servislerinin kalite değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottur. ACR metodunda Şekil 2.1'de gorulduğu gibi izleyiciler 10 saniye boyunca değerlendirilecek videoyu izler, takip eden 10 saniyede ise izelge 2.1'de goşterilen 0-5 puan aralığında değerlendirir. Değerlendirme sonuçları her bir kategoride değerlendirme yapan izleyici sayısı ve değerlendirme skorları ile ağırlıklandırılır ve MOS cinsinden goşterilir. Video kalite değerlendirmesi sıra etkisi olarak bilinen sebepten ötürü önce izlenen videoların kalitesinden etkilendiği bilinmektedir. Yani izleyici bir önceki video kalitesi daha iyi olduğu

durumlarda izlenen videoya daha düşük, önceki video kalitesi daha kötü olduğu durumlara izlenen videoya daha yüksek skor verme eğiliminde olmaktadır. Bahsedilen bu etkiyi ortadan kaldırmak adına örneğin her bir değerlendirici için rasgele video dizisi gösterilebilir ya da aynı videonun değerlendirilmesi farklı sıralamayla yapılabilmektedir [21,22].



Şekil 2.1 ACR metotta uyarım sunumu [21].

Çizelge 2.1 ACR metotta değerlendirme tablosu [21].

Score	Assessment
5	Excellent
4	Good
3	Fair
2	Poor
1	Bad

2.1.2. Gizlenmiş Referanslı MKS (GR-MKS) (Absolute Category Rating with Hidden Reference-ACR-HR) Metodu

ACR-HR metodu ITU organizasyonu tarafından izleyici değerlerinin kullanılan video içeriğinin farkından etkilenmesini önlemek için tasarlanmıştır. ACR metoduyla elde edilen değerlendirme sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak referans video ile

değerlendirilen video arasındaki skor farkı hesaplanır. Değerlendirme sonuçları İndirgeme MOS (Degradation MOS-DMOS) (Degradation Mean Opinion Score-DMOS) olarak adlandırılan ve aşağıdaki şekilde hesaplanan farksal kalite skorlaması ile gösterilir.

$$\text{İndirgeme MOS} = \{\text{değerlendirilen video skoru}\} - \{\text{referans video skoru}\} + 5$$

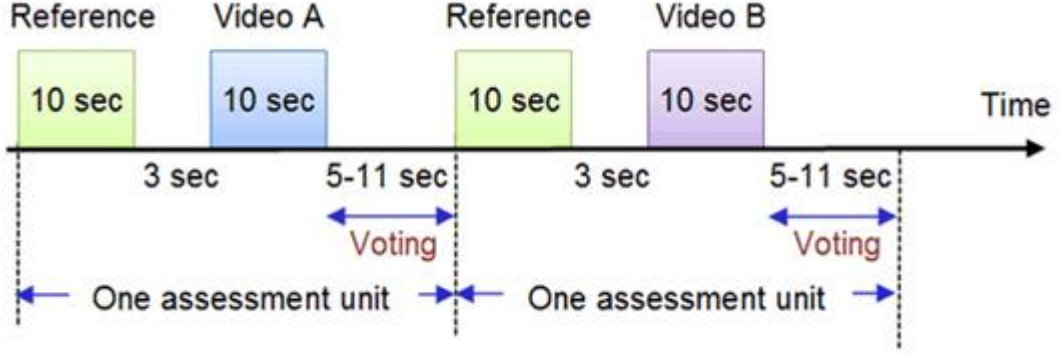
Burada referans video kalitesi uzman tarafından 4 “İyi” ya da 5 “Mükemmel” skoru verilerek değerlendirilir. Bu değerlendirme metodu nesnel video kalite değerlendirmesi araştırmalarında Video Kalite Uzmanları Grubu (VKUG) (Video Quality Experts Group-VQEG) tarafından sıklıkla kullanılır [21,22].

2.1.3. İndirgeme Kategori (İKM) (Degradation Category Method-DCR) Metodu

DCR metodunda referans video ile değerlendirilecek video Şekil 2.2’deki gibi 10’ar saniyelik sürelerle aralarında 3 saniye olacak şekilde izleyiciye izlettirilir. İzleme tamamlandıktan 5-11 saniye sonra izleyiciden Çizelge 2.2’deki gibi beş kademeli bozulma ölçeğince değerlendirilmesi istenir. Referans video her zaman denek videodan önce gösterilir dolayısıyla değerlendirme bir öncekini takip tabanlı yani referans video tabanlı yapılıdır. Sonuç olarak, bu metod da ACR metodunda meydana gelen sıra etkisi ortadan kaldırılmış olur. ACR metodunda skorlar MOS değerleriyle gösterilirken, bu metod genellikle İndirgeme MOS) değerleriyle gösterilmesiyle de ACR metoduyla ayrışır.

DCR metodunda İndirgeme MOS değerlendirmesinin tercih edilmesinin sebebi referans video ile kıyaslama sağlamasıdır. Bozulma ACR metodundan daha yüksek hassasiyette değerlendirilir. DCR metodu görece daha düşük bozulmaların değerlendirildiği sistemlerde ACR metodundan daha uygundur diyebiliriz. Fakat diğer taraftan İndirgeme MOS değerlendirmesi iki adet video örneğinin incelenmesini gerektirdiği için, aynı koşullarda aynı sayıda kalite değerlendirmesi için ACR metoduna göre yaklaşık iki kat süre gerekmektedir. DCR metodunda 4.5, 3.5 ve 2.5 skorları kabul edilebilir limit ve dayanılabilir/katlanılabilir limit gibi limitleri

belirlemek için genellikle kalite standardı olarak verilir İKM metodu aynı zamanda Çift Uyarıcılı Bozulma Ölçeği Metodu (ÇUBÖM) (Double stimulus impairment scale-DSIS) olarak da bilinir [21,22].



Şekil 2.2 DCR metotta uyarım sunumu [21].

Çizelge 2.2 DCR metotta değerlendirme tablosu [21].

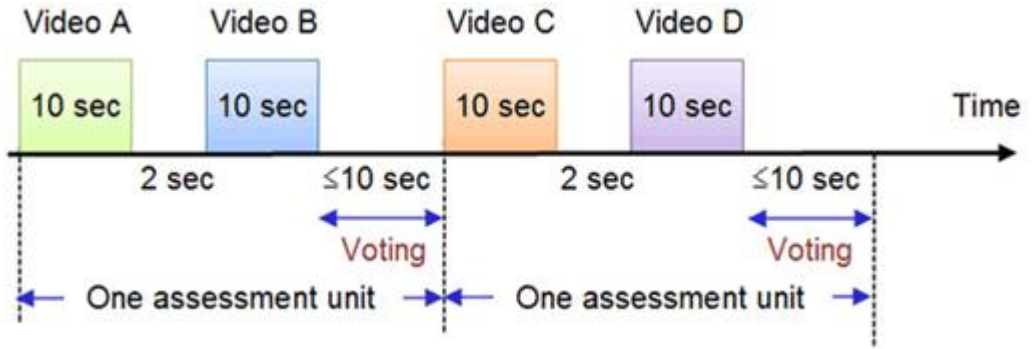
(Table 1.5.2) 5-grade impairment scale

Score	Assessment
5	Imperceptible
4	Perceptible, but not annoying
3	Slightly annoying
2	Annoying
1	Very annoying

2.1.4. Eş Karşılaştırma (EK) (Pair Comparison-PC) Metodu

PC metodu Şekil 2.3'te gösterilen biçimde video çiftlerinin değerlendirildiği bir VKD metodudur. Denek her iki videoyu da 10 saniye süresince izler, birinci video ile ikinci videonun kalitesini karşılaştırır ve bir sonraki maksimum 10 saniyelik aralıkta iki videodan kaliteli olanı belirler. Değerlendirme Çizelge 2.3'te gösterilen yedi puanlı karşılaştırma ölçeği üzerinde yapılır. Bu metotta değerlendirme sonuçları sıra etkisine maruz kalmaktadır çünkü sonuçlar hangi videonun önce gösterildiğine göre

değişkenlik gösterecektir. Aynı çift videolar değerlendirilecek bile olsa değerlendirme farklı sıralamalarda yapılmalıdır. PC metot değerlendirilen videolar arasında direk karşılaştırma yapmaya olanak sağladığı için kalite değerlendirmesinde hemen göze çarpmayan farkları algılamayı sağlar. Fakat kalite değerlendirme sonuçları kesin değil görecelidir. Ayrıca çok sayıda video değerlendirme kombinasyonuna sahip olduğu için değerlendirmek ACR veDCR metotlarına göre daha uzun süre almaktadır [21,22].



Şekil 2.3 PC metotta uyarım sunumu [21].

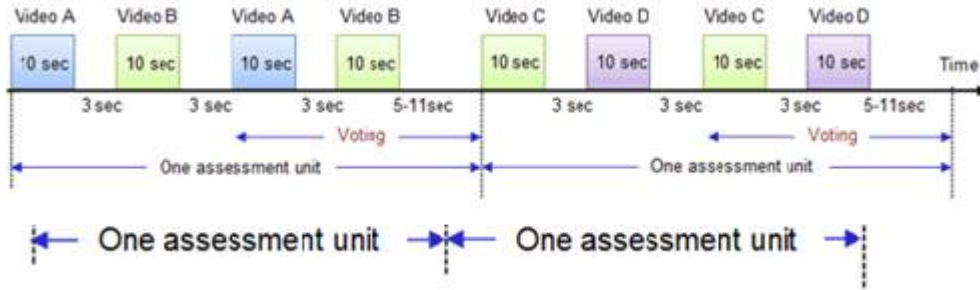
Çizelge 2.3 PC metotta değerlendirme tablosu [21].

Score	Assessment
-3	Much worse
-2	Worse
-1	Slightly worse
0	About the same
1	Slightly better
2	Better
3	Much better

2.1.5. Çift Uyarıcı Sürekli Kalite Ölçeği (ÇUSKÖ) (Double Stimulus Continuous Quality Scale- DSCQS)

DSCQS metodu televizyon yayınları için iletim yolları ve kalite değerlendirme sistemleri için ITU BT.500 (Broadcasting service (television)) önerilerini kullanan bir metottur. Bu metot özellikle kalite durumlarının tam alanın ulaşımın mümkün olmadığı ve eş zamanlı olarak referans video ile değerlendirilecek videon arasında kalite farkı değerlendirmesi ve kesin VKD kapasitesine sahip olduğu durumlarda etkin bir metottur.

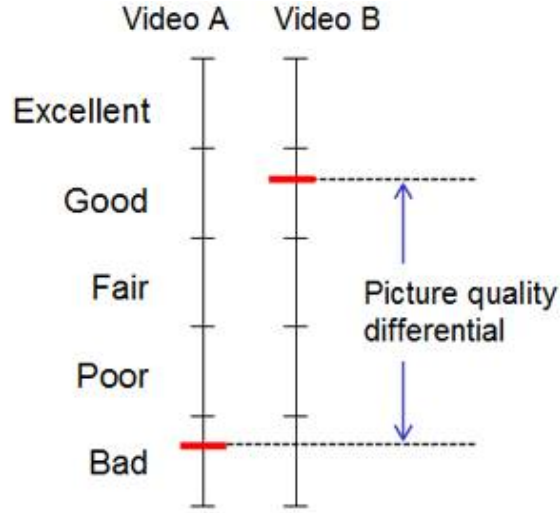
DSCQS metodu Şekil 2.4'te görüldüğü üzere video çiftleri, referans video ve değerlendirilecek videoyu da kapsayacak şekilde ve video kodlanması gibi bazı işleme süreçlerine maruz kalarak iki defa gösterilirken kalite değerlendirmesi videoların ikinci defa gösteriminde yapılır. Videolar rasgele sıra ile gösterilir ve denek videolar için hangisinin referans video olduğu söylenmez.



Şekil 2.4 DSCQS metotta uyarım sunumu [21].

İzleyiciler Şekil 2.5'te görüldüğü üzere videoları sürekli kalite değerlendirme ölçeğinde 5 kategoride skor vermektedir. Değerlendirme ölçeği 0-100 aralığında (maksimum değer 100, minimum değer 0 olacak şekilde) normalize edilir ve her bir değerlendirilen videonun skoru referans videonun skorundan çıkarılır. Bu resim kalite farksal değerleri tüm izleyicilerin DSCQS değerlerini elde etmek için kullanılan

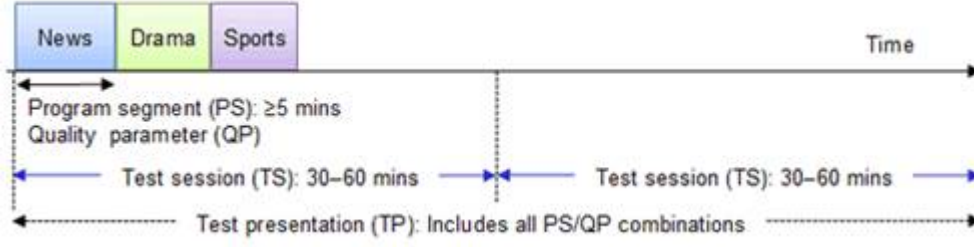
ortalamasıdır. DSCQS değerleri resim kalitesi farkından hesaplandığı için daha küçük değerler yüksek kaliteyi belirtirken yüksek değerler düşük kaliteyi gösterir [21,23].



Şekil 2.5 DSCQS metotta değerlendirme [21].

2.1.6. Tek Uyarıcılı Sürekli Kalite Değerlendirme (TUSKD) (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation- SSCQE)

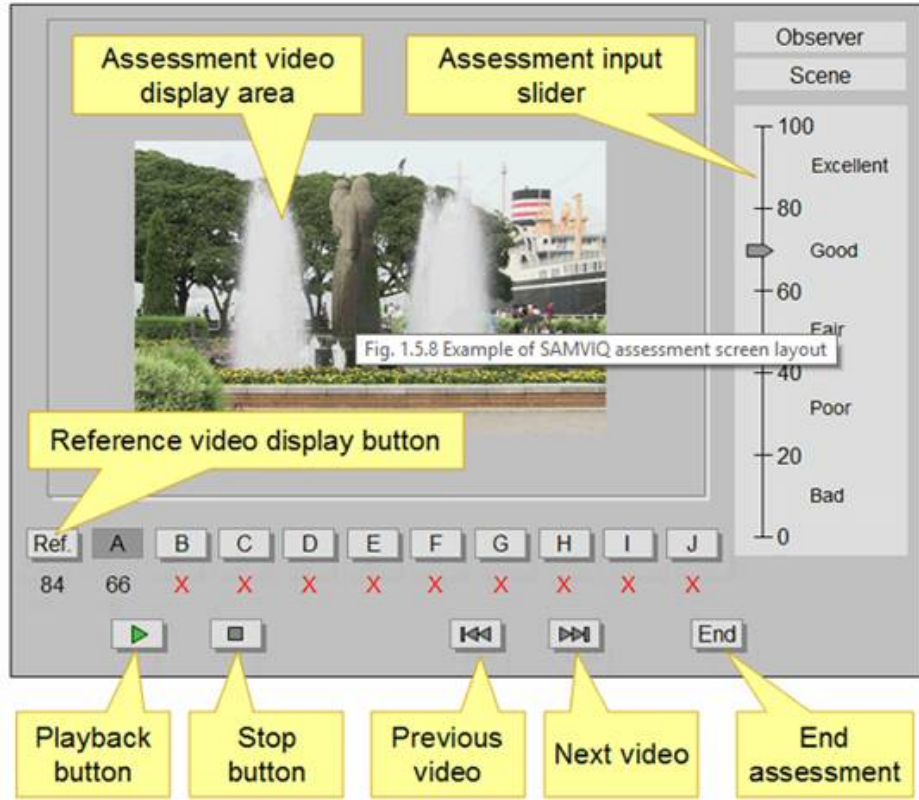
Dijital videolarda kalite bozulması video içeriğinin karakteristiğine bağlı olarak zamanla değişir. Bu sebepten dolayı VKD yapılırken birçok farklı video sahneleri (farklı içerik) kullanılır. Fakat SSCQE gibi metotlar kalite değerlendirmesinde çok sayıda video sahnesi için çok uzun zamana ihtiyaç duymaktadır. Bunlara ek olarak, standart videonun bulunmadığı durumlarda örneğin izleyiciler video içeriğini kendi evlerinde izlediği durumda kalite değerlendirmesinde ek düzenleme ihtiyacı yapılması gerekmektedir. SSCQE metodu standart videonun olmadığı durumlarda sürekli öznel kalite değerlendirmesi yapan bir metottur. Şekil 2.6 SSCQE değerlendirme prosedürünü göstermektedir [21,23].



Şekil 2.6 SSCQE metotta uyartım sunumu [21].

2.1.7. Video Kalitesi İçin Öznel Değerlendirme Metodolojisi (VKÖDM) (Subjective Assessment Methodology for Video Quality- SAMVIQ)

Bu zamana kadar ki birçok video kalite değerlendirme yöntemi televizyon yayınından örnek kaynak kullanarak uygulanmıştır fakat son yıllarda PC ve mobil cihazlar için video iletim servislerinin popülerliğinin artmasıyla çeşitli video formatlarıyla ve değişik izleme koşullarına uyumlu video kalite değerlendirme metotlarına olan ihtiyaç artmıştır. ITU BT.1788 ile SAMVIQ metodu değerlendirme ortamı standart videoların tekrar oynatılabildiği yerler ya da bilgisayar monitöründe video değerlendirilebildiği yerler ve deneklerin kendi adımlarıyla oynattığı videolara skor verebildikleri yerlerde ortam hazırlar. Şekil 2.7 SAMVIQ metoduyla değerlendirilebilecek bir video için ekran alıntısını göstermektedir. Bu yöntemle her bir değerlendirilen video karşılaştırılırken ve kontrol edilirken değerlendirilebilir. Aynı zamanda bu yöntemler daha tekrar edilebilir ve stabil değerlendirme sonuçları elde edilir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere yapılan arayüzde izleyici referans videoyu puanlayıp sonrasında gelen videoları sağ tarafta bulunan skor kaydırıcısı ile 0-100 arasındaki değerlerle skor vermektedir. Bu yöntemle video tekrar oynatılabilir, durdurulabilir ve değerlendirme sonlandırılabilir aynı zamanda önceki ve sonraki videolara geçiş imkânı da tanınmıştır



Şekil 2.7 SAMVIQ metotta değerlendirme ekranı görüntüsü [21].

2.2. 2B Videolar için Nesnel VKD Metrikleri

2B videolar için nesnel VKD metrikleri bilgisayar programları yardımıyla görüntülerin bazı özelliklerini matematiksel olarak ölçer.

Görüntü işleme uygulamalarında 2 ana nesnel VKD yöntemi vardır. İlki İGS'ye dayanan, ikincisi matematiksel olarak tanımlanmış ölçüler (MSE, PSNR... vs.) ölçülerdir. İlk sınıfa giren ölçüler, karmaşık olmakla beraber ikinci sınıfa üstünlük göstermemektedir. İkinci sınıfa giren ölçüler ise hesaplama kolaylıkları, gözlem ve gözlemci koşullarından bağımsız olmaları sebebiyle cazibelerini korumaktadır. İnsanın görüntü kalitesini algılayışı açısından gözlem koşullarının önemli olduğuna inanılmasına rağmen, değişen gözlem koşullarında sabit ve muayyen veri elde edilememesi sebebiyle elde edilen veri kıymetini yitirir.

Literatürde VKD metrikleri orijinal videonun referans olarak kullanılıp kullanılmamasına göre Tam-Referanslı (TR), Azaltılmış-Referanslı (AR) ve Referanssız olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. TR metrikler, orijinal video ile iletilen videonun kıyaslayarak ölçüm yapmaktadır. AR metrikler VKD yapabilmek için orijinal videodan çıkarılan özniteliklere ihtiyaç duyar. Bu öznitelikler ile iletilen videoyu kıyaslayarak VKD yapar. Referanssız metrikler ise VKD yapabilmek için iletilen video haricinde herhangi bir şeye ihtiyaç duymaz. Alıcı tarafta elde edilen videoda matematiksel ölçümler yaparak VKD skorunu elde eder. Bu bilgiler ışığında, Referanssız metrikler VKD için diğer metriklerle kıyasla çok esnektir ve hiçbir iletim hattını kullanmadığı için ise çok daha verimlidir [25, 26].

2.2.1. TR VKD Metrikleri

Literatürde 3B videolar yaygın olarak kullanılan VKD metriği bulunmamasına karşın 2B videolar için Tepe Sinyal Görüntü Oranı (TSGO) (Peak-Signal-to-Noise-Ratio-PSNR) [28], Yapısal Benzerlik Metriği (YBM) (Structural Similarity Index-SSIM) [33, 34] ve Video Kalite Metriği (VKM)(Video Quality Metric-VQM) [37] gibi araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan ve genel kabul görmüş TR nesnel VKD bulunmaktadır [27]. Bu sebepten ötürü 3B videolar için kalite değerlendirmesi yapmak isteyen bazı araştırmacılar bu 2B VKD metriklerini yaygın olarak kullanmaktadır. Bu yüzden 2B VKD için en çok kullanılan nesnel TR VKD metriklerden bu bölümde bahsedilecektir [29].

2.2.1.1 Karesel Ortalama Hata (KOH) (Mean Squared Error – MSE)

MSE (“Mean Squared Error”), ortalama karesel hata hassasiyeti bazlı bir görüntü kalite değerlendirmesidir. Orijinal ve bozulmuş görüntü kullanılarak ölçüm yapılır. Denklem (2.1)’de MSE ölçümünün nasıl yapıldığı gösterilmektedir [34].

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

Bu formülde, $I(i,j)$ orijinal görüntüdeki piksel değerlerini ifade ederken, $I'(i,j)$ ise, alıcı tarafta elde edilen görüntünün piksel değerlerini ifade etmektedir. G görüntünün genişliğini ve U ise görüntünün yüksekliğini göstermektedir. MSE sadece piksel değerleri bazlı bir değerlendirme yapar. MSE görüntünün piksel değerleri haricinde herhangi bir özelliğini kullanmadığı için araştırmacılar tarafından ehliyetsiz bir VKD metriği olarak görülmektedir. Ayrıca karesel hata bazlı bir değerlendirme sistemi olduğu için ufak yanlışlıklar büyük hatalara sebep olabilmektedir [28, 30].

2.2.1.2 PSNR

PSNR metriği, MSE temelli bir metriktir. Bu metrik sinyalin olası maksimum değeri ile bozucu görüntünün gücüne oranı ile elde edilmiştir. Metrik orijinal görüntü ile bozulmuş görüntüyü kıyaslayan logaritmik desibel ölçekte ifade edilen TR bir metriktir. Yukarıda bahsettiğimiz oran görüntü sinyali ve görüntü arasında bulunan gücün oranı olarak anlatılır. PSNR araştırmacılar tarafından 2B VKD için itibar edilen metriklerdendir [28, 29, 30].

Denklem (2.2)'de PSNR metriğinin nasıl elde edildiği gösterilmiştir.

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

Burada MAX_I ifadesi, orijinal (bozulmamış) görüntünün alabileceği maksimum sinyal değeridir. Ayrıca araştırmacılar tarafından 2B VKD için itibar edilen metriklerdendir.

2.2.1.3 SSIM

SSIM, orijinal görüntü ile bozulmuş görüntü arasındaki benzerliği ifade etmek için tasarlanan TR bir metriktir. SSIM, araştırmacılar tarafından kabul görülen metrikleri daha öteye taşımak için tasarlanan bir metriktir. Görüntülerin yapısal benzerliklerini göz önünde bulundurarak görüntünün bloklaşma, kontrast ve parlaklık bileşenlerini ele alarak geliştirilmiştir. Bu bileşenler İGS temeline dayandırılmıştır [32]. Bahsedilen bileşenler Denklem (2.3) ile gösterilmiştir.

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (2.3)$$

Burada

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x \mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (2.4)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (2.5)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3} \quad (2.6)$$

Bu denklemlerde x orijinal sinyal ve y bozulmuş sinyal olarak ifade edilmiştir. μ_x , x sinyalinin değerlerinin ortalaması; μ_y , y sinyalinin değerlerinin ortalaması; σ_{xy} , x ve y 'nin kovaryansını ifade etmektedir. Ayrıca Denklem (2.4) parlaklık bileşenini, Denklem (2.5) kontrast bileşenini ve Denklem (2.6) ise yapısal bloklaşma bileşenini ifade etmektedir. Denklem (2.3)'te ifade edilen α , β ve $\gamma = 1$ alınarak ve $C_3 = C_2/2$ alınarak denklem sadeleştirildiğinde Denklem (2.7) elde edilir [32, 33, 34].

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x \mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (2.7)$$

2.2.1.4 VQM

VQM, Telekomünikasyon Bilimleri Enstitüsü (Institute for Telecommunication Sciences-ITS) tarafından sunulmuş, en yaygın şekilde kullanılan ve geçerliliği kabul görülen VKD metriklerindedir. Ayrıca VQM, Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI-American National Standards Institute) standartlarında öznel yaklaşım yöntemleri arasında kabul edilen ve VKD arasında en iyi performans gösteren karşılaştırma yöntemlerindedir. Görüntü iletimi sonucu oluşan bulanıklaştırma, doğal olmayan genel görüntü, blok iletim bozulmaları ve renk dengesi bozulmalarını tespit etmede kullanılır. Farklı ölçümler sonucu elde edilen metrikler tek bir lineer değer olarak ölçümlenir ve hesaplanır. Geliştirilen VKD metriği ölçümlerini dört adımda gerçekleştirmektedir. Bunlar; kalibrasyon, özellik çıkarımı, yaklaşık kalite değer belirleme ve kalite tahmini adımlarıdır [30, 37, 38].

Hewage ve arkadaşları 2008 yılında metriğin uygulamasını geliştirmiş ve çalışmada genel izleyici algısında başarılı sonuçlar gözlemlenmiştir [29].

2.2.1.5 Kutu Filtreli YBM(KFYBM) (Structural Similarity Metric Box Filter-SSIM B)

Bu metriğin SSIM metriği ile yapısı temel olarak aynıdır. Metriğin dezavantajlarından biri olan yavaşlığını geliştirmek adına SSIM indeks değeri her bir piksel için Gauss penceresi dolaştırmak yerine 8x8 blok dolaştırılarak indeks değeri hesaplanır. Böylece hem piksellerin değerlerini teker teker bulmak yerine blok bazında değerler hesaplanmış hem de blokların ortalaması alınarak hesaplanan SSIM değerinin bulunması daha kolaylaşmıştır [30, 35, 36].

2.2.1.6 Çoklu Boyut-YBM (ÇB-YBM) (Multi Scale-SSIM-MS-SSIM)

MS SSIM ile SSIM'i ayıran özellik ise VKD algoritmasının farklı çözünürlük değerlerinde çeşitli SSIM değerleri için uygulanmasıdır. Metriğin hesaplama hızı

SSIM'e göre daha yavaştır. Ayrıca metrik görüntü çözünürlüğü ve görüş mesafeleri gibi durumlara bağlıdır [30, 35, 36].

2.2.1.7 Çoklu Boyut-Kutu Filtreli YBM (ÇB-KFYBM) (MS-SSIM Box Filter-MS-SSIM B)

Bu yöntem de MS SSIM'de ufak bir değişiklik yapılarak revize edilmiştir. SSIM B yöntemine benzer şekilde hesaplama yavaşlığını azaltma adına Gauss penceresi kullanmak yerine 8x8 blok kullanılmış ve algoritma hızlandırılmıştır [30, 35, 36].

2.2.1.8 Evrensel Kalite İndeksi (EKİ) (Universal Quality Index-UQI) Methodu

UQI ("Universal Quality Index") olarak bilinen evrensel objektif görüntü kalitesi indeksi, üç faktörün kombinasyonuyla herhangi bir görüntü bozulmasını modellemek üzerine kullanılmaktadır. Bu üç faktör: korelasyondaki kayıp, parlaklık bozulması ve kontrast bozulmasıdır [30].

UQI Bölüm 2.2'de bahsedilen ikinci sınıfa giren matematiksel hesaplama temelli bir metriktir ve test edilen görselden, gözlem ve gözlemci koşullarında bağımsız çalışır. Görüntü sinyalleri ve görüntü kalitesi çoğu zaman sabit değildir, fakat buna rağmen çoğu zaman tüm görselin kalitesi tek bir değerle ifade edilmek istenir. Bu sebeple görselde yerel ölçümler yapıp, en sonunda bunları tek bir değerde birleştirmek en uygun yoldur. Bunun için UQI kayan pencere uygulamasını kullanır. Ölçüm görselin sol üst pikselinden başlar ve BxB ölçülerindeki kayan pencere vasıtasıyla sağ alt piksele kadar görseli tarar. Tek tek elde edilen değerlerin sonunda ortalaması alınır ve görselin kalitesini ifade eden tek bir değer bulunur [39,40].

UQI'ın başarısını test etmek için, MSE ile karşılaştırılmış ve farklı bozulma parametreleri uygulanmış görsellerle yapılan deneylerde UQI çok daha başarılı sonuçlar vermiştir. Metriğin başarısı görseldeki yapısal bozulmayı ölçme becerisine dayandırılmaktadır [31].

2.2.1.9 Güven Aralıkları Kesişimi Kalite Değerlendirme (GAKKD) (Intersection of Confidence Intervals Quality Assessment-ICIQ) Yöntemi)

YB temelli değerlendirme metriklerinden bir diğeri ICIQ'dur. Bölüm 2.2.1.3'te bahsedilen SSIM görüntünün yerel istatistiksel değerleri ile çözüm üretirken, ICIQ uyarlamalı benzerlik değerlendirme ile benzerlik ölçütü oluşturur. Görüntü restorasyonu için geliştirilmiş ICI algoritmalarını temel alarak geliştirilen bu metrik yapısal benzerliği piksel bazlı benzerlik ile elde etmektedir. ICI algoritması bozuk, eski veya renk ayarı bozuk resimleri düzeltmek için yakın komşu piksel değerleri arasındaki benzerliğe göre düzenleyen restorasyon algoritmalarından biridir. Görüntü yapısındaki değişiklikler elde edilen ölçüm değerlerini etkilemektedir. ICIQ, iki görüntü arasındaki uyarlamalı farklılıklardan elde edilen ölçümlerin farklılığından değerlendirme ölçütü oluşturur. Bu farklı ölçümlerin değerlendirilip birleştirilmesi sonucu tek bir metrik elde edilir. Bu metrik iki farklı bileşenden oluşmaktadır. Birinci metrik görüntüler arası fark değerleri ile elde edilen yapıdır. İkinci bileşen ise, görüntüler arasındaki yoğunluk farkından kaynaklı oluşur ve elde edilen değerler normalize edilerek oluşturulur. Literatürde ilk bileşen "fark haritası", ikinci bileşen "yoğunluk tabanlı" olarak adlandırılır [41, 51].

2.2.1.10 Dijital Video Kalite (DVK) (Digital Video Quality-(DVQ) Metriği)

DVQ algoritması kontrast tabanlı bir algoritmadır. DVQ algoritmasının en karmaşık problemlerinden biri insan görsel algısının uzaysal tanımlamasının algılamasını sağlamaktır. Bu amaçla Ayırık Kosinüs Dönüşümü (AKD) (Discrete Cosine Transform-DCT) kullanılır [31, 54, 55].

2.2.2. AR VKD Metrikleri

Bölüm 2.2'de de belirtildiği üzere AR metrikler orijinal videoya sahip olmaya gerek duymazlar fakat referans videoyla alakalı bazı bilgilere (özniteliklere) sahip olunması gerekir. Bu kısımda ARVKD metotlarından bazıları incelenecektir.

2.2.2.1 Kontrast ve kenar benzerlik tabanlı metrik (Fu ve arkadaşlarının çalışması) [42].

Bu çalışmada kenar ve kontrast bilgilerini kullanarak öznel testlerle iyi korelasyon sonuçları veren bir TR VKD metriği geliştirmiştir. Bu metrik ise kenar-kontrast benzerlik metriği adıyla da literatürde yerini almıştır.

Kenar bilgisini elde edebilmek için Öncelikle parlaklık bileşenleri elde edilmiş ve Canny algoritması kullanılarak 8x8 kare pencere yardımıyla kenar bilgisi çıkarılmıştır.

Kontrast bilgisi görüntülerin yatay ve dikey ortalama yoğunlukları ve standart sapmalarının hesabına dayanmaktadır.

Metriğin eksik yönleri zamansal bileşenlerden yoksun bir ölçüm metriği olması ve kenar bilgisi elde ederken sadece parlaklık bileşeninin kullanılmasıdır [42].

2.2.2.2 SSIM temelli AR VKD metriği (Albonico ve arkadaşları tarafından önerilen metrik) [43].

Bu metrik Bölüm 2.2.1.3'te bahsedilen SSIM metodu temelinde geliştirilmiştir.. Bu metrik SSIM ile aynı formül ve bakış açısını kullanmanın yanında VKD işlemini sadece referans video temelli yapmak yerine videonun ortalama ve varyans gibi bazı özelliklerini de kullanmaktadır. Ek olarak 16x16 kayan bir pencere kullanır ve referans video ile test video arasındaki kovaryansı hesaplamak yerine her iki video boyunca kanal indüklemeyi bozulmayı tahmin ederek ortalama ve mutlak değer benzerliğini kullanır.

Bu metot her ne kadar AR bir yöntem olarak düşünülmüş olsa da TR metrik olan SSIM metoduna az çok benzemektedir. İkisi arasındaki farkı bir örnekle açıklamak gerekirse, video iletimi durumunda bu metotta iletimden önce referans video için tüm değerler peşinen hesaplanır fakat SSIM bu değerleri alıcı tarafında hesaplar. Yöntem böyle yaparak veri boyutunu düşürür fakat diğer taraftan tüm bu tahminleri ve başvuru

çizelgelerini her video dizisi için peşinen hesaplanması gerektiğinden SSIM'e göre daha düşük hassasiyette sonuçlar vermektedir [43].

2.2.2.3 Damgalama temelli VKD metriği (Fu-zheng tarafından önerilen metrik) [45].

Bu çalışmada kullanılan damgalama işlemi kontrol edilebilir miktarda bir bozulmanın resme eklenerek iletim sonucunda bu damgalama miktarı kontrol edilip bozulma miktarının ölçülmesiyle sonuçlandırılan bir süreçtir. Metriğin daha iyi anlaşılabilmesi adına damgalama işleminden bahsedilmesi iyi olacaktır.

Damgalama işlemi kalite değerlendirmesi için video iletimi tamamlandıktan sonra alıcı tarafında yapılır. Literatürde yapılan çalışmalar damgalama özellikleri videonun parlaklık bileşenlerinde gömülü olduğu için İGS'nin parlaklık değişiminden çok renklilik değişimine daha hassas olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla damgalama pikselleri parlaklık bileşenleri içerisine yerleştirilmiştir.

Bu çalışmada VKD damgalama işlemi ile iletim sonrası elde edilen damgalama piksellerinin oranıyla bulunur. Bunu ifade eden denklem piksel geri kazanım oranı (Pixel Recovery Rate-PRR) olarak Denklem 2.12' de ifade edilmiştir [31].

$$PRR = \frac{N_1}{N} \quad (2.12)$$

N_1 toplam geri kazanılan damgalama pikselleri sayısını, N ise toplam damgalama pikselleri sayısını ifade etmektedir.

Simulasyon sonuçları PRR ile PSNR arasında doğrusal bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Bu metodun eksik yanı renk kanalları için herhangi bir değerlendirme yapılmamış olmasıdır. Her ne kadar İGS parlaklık kanallarına renk kanallarından daha hassas olsa da, renk kanallarının video kalitesi üzerine etkisi bulunmaktadır. Bir diğer eksiklik ise damgalama işlemi tüm pikselleri kapsamamaktadır. Bu pikseller sadece

görüntü bazı bölgelerine eklenir. Dolayısıyla başka bölgelere eklenecek olan pikseller sonucu daha farklı etkileyebilirdi [45].

2.2.2.4 Psikofiziksel deneyli damgalama metotlu VKD metriği (Farias tarafından önerilen metrik) [46].

Bu metrik damgalama yaklaşımını kullanarak video kalite hesaplaması yaptığından bir önceki bahsettiğimiz metriğe benzemektedir. İkisinin arasındaki fark bu metriğin önerilmeden önce psikofiziksel deneylerinin yapılmış olmasıdır. Bu deneyler görünürlük hassasiyeti ve orta rahatsızlık değerlerini ölçmek için yapılmıştır. Bu yüzden bir önceki metoda göre daha hassas bir yöntem olmuştur. Bu sebepten ve psikofiziksel testler sonucundan dolayı damgalama uzunlukları farklıdır ve farklı videolara bağlıdır. Bu metrik için de bir önceki yöntem için yaptığımız eleştiriler geçerlidir [46].

2.2.3. Referanssız VKD Metrikleri

Bölüm 2.2’de de belirtildiği üzere Referanssız metrikler orijinal videoya ya da orijinal videodan çıkarılan videonun özneliklerine sahip olmadan VKD yaparlar. Bu kısımda Referanssız VKD metotlarından bazıları incelenecektir.

2.2.3.1 Hareket vektörü (HV) hesaplama temelli VKD metriği (Yang ve arkadaşları tarafından önerilen metrik) [47].

Çoğu NR VKD metriklerinin aksine bu metot uzamsal yaklaşım yerine zamansal yaklaşımda bulunmaktadır. İGS keskin değişimlere hassasiyet gösterir ve video içerisindeki birbirini takip eden görüntüler çoğunlukla aynı yapıda olmaya meyillidir. Bu çalışmada dikkat edilmesi gereken şey, ilk adımda görüntüdeki her bir piksel için HV hesaplanmasıdır. Bir sonraki adımda aynı bölgede bulunan her bir pikselin HV’ine

göre birbirini takip eden görüntülerin aynı alanlarında hareket vektörü hesaplanır. Bahsettiğimiz HV bulma işlemi belirlenen bir hassasiyet değeri seçilerek yapılır. Böylece HV belirli bir bölgede yer alan piksellere aitse HV o bölgeye aittir diyebilmekteyiz fakat değilse bu pikseller için karşılık gelecek yeni bir bölge bulmaya çalışılmaktadır. Son adımda ise eşleşen bölgelerin alanları toplam kaliteyi bulma adına karşılaştırılır. Bir görüntüdeki tüm bölgelerin kalitesini hesaplayarak her görüntüye bir skor atanır ve sonrasında tüm video boyunca skorlar hesaplanır. Metrik alan boyunca diferansiyel yaklaşım kullanır. Öncelikle belirlenen bölgenin bir önceki görüntüyle o görüntü arasındaki farkı hesaplanır ardından Gauss filtresi uygulanır ve fark aynı bölge için farklı değer olarak tekrar hesaplanır [31, 47].

Bu metot avantajları yanında bazı dezavantajları olan bir metottur. Her bir piksel için hareket vektörü hesaplama işlemi uzun zaman gerektiren bir işlemdir. Özellikle yüksek görüntü hızına sahip videolarda daha da uzun zaman almaktadır [31].

2.2.3.2 Görsel dikkat metodu temelli VKD metriği (Oprea ve arkadaşları tarafından önerilen metrik) [48].

Bu metrikte öncelikle görüntülere Görsel Dikkat Modeli (GDM) (Visual Attention Model-VAM) uygulanmıştır. Sonraki adımda ise bu modelden çıkarılan bölgelerin kalitesi hesaplanmıştır. Aslında bu metrikte kalite değerlendirme kısmından ziyade VAM üzerine yoğunlaşmıştır [48].

Bu NR metriğin en büyük dezavantajı VAM'in seçtiği ilgi bölgesi dışındaki alanların VKD hesaplamalarına dâhil edilmemesidir. İlgi bölgesinin daha dikkat edilmesi gereken bölgeler olması ve diğer bölgelerin daha az öneme sahip olması kabul edilebilir bir yaklaşım olmasına karşın ilgi bölgesi alanı dışında kalan alanların es geçilmesinin doğru bir yaklaşım olmadığı düşünülmüştür. Bu dezavantajın giderilebilmesi adına ilgi alanı bölgelerinin ve alan dışı bölgelerin önemleri ölçüsünde ağırlık katsayılarına sahip olması daha doğru bir yaklaşım olabileceği düşünülmüştür [31].

2.2.3.3 3B dalgacık metodu temelli VKD metriği (Larabi ve arkadaşları tarafından önerilen metrik) [49].

Bu NR VKD metriğinde yazar renkli videoların kalite hesaplamasını 3B çok bantlı dalgacık dönüşümü metodunu kullanarak yapmıştır. Böylelikle renkli video dizileri öncelikle uzamsal-zamansal frekans kanalları sayısınca ayrılmıştır. 3B dalgacık ayrışımı videolara uygulandıktan sonra uzamsal-zamansal kontrast hassasiyet fonksiyonu filtresi uygulanmış ve en etkili dalgacık katsayılarını bulmak için parlaklık hassasiyet maskeleyesi yapılmıştır. Sonraki adımda ise aktivite maskeleyesi yapılmış ve son olarak tüm veriler ortak bir havuzda toplanmıştır. Bu metrikte İGS temel bazı özellikleri modellenmeye çalışılmış ve yapılan bu işlem diğer metriklerle kıyasla büyük bir ilerleme sağlamıştır. Ayrıca bu metodun Bölüm 2.2.1.10'da bahsedilen DVQ metriğine benzer özellikleri bulunmaktadır. Bu yaklaşımla elde edilen sonuçlar öznel metriklerle kıyaslandığında yüksek korelasyon elde etmiştir [49].

2.2.3.4 Stereoskopik Görüntü Kalite Tahmini (Sazzad ve arkadaşları tarafından önerilen metrik) [50].

Bu NR metrik stereoskopik görüntülerde iki farklı algoritma kullanılarak elde edilmiştir. Bu iki algoritma: görüntülerin yapılarının ölçümü ve uyumsuzluk ölçümüdür.

Görüntü yapı ölçümü kenar, düzlük ve yassılık özellikleri kullanılarak yapılmıştır. Uyumsuzluk ölçümü ise düzlemsel (plane) ve düzlemsel olmayan (non plane) olarak ayrıştırılan stereoskopik görüntüler üzerinde sağ ve sol görüntülerin ortalama sıfır kesim farkı ölçümü yapılarak elde edilmiştir [50].

Bu metriğin geliştirilmesi gereken yönü ise, uyumsuzluk ölçümünde sadece parlaklık bileşeni kullanılmış olmasıdır. Renkli videoların diğer bileşenleri de kalite değerlendirmesine eklenmesiyle daha iyi korelasyona sahip bir metrik elde edilebilir [31].

3. ÖNERİLEN 3B VIDEO KALİTE ÖLÇÜM MODELİ

Bu bölümde, 3B videoların kalite ölçümünde zaman kaybına neden olan öznel testlerin yerine alabilecek Referanssız bir VKD metriği geliştirilmiştir. 2B+DH temelli 3B videolar, kodlama verimliliği ve iletim teknolojileriyle olan uyumluluğu sebebiyle araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Bu nedenle bu tezde önerilen 3B VKD metriğini geliştirilirken sol+sağ görüntü temelli 3B videolar yerine 2B+DH temelli videolar göz önüne alınmıştır. 2B+DH temelli VKD metriği geliştirilirken farklı kalite parametrelerinde örneklenmiş 3 farklı 3B video kullanılmıştır. Anlık görüntüleri Şekil 3.1’de gösterilen videoların isimleri şu şekildedir: *Chess*, *Interview* ve *Windmill*.



(a)



(b)



(c)

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

Kullanılan 2B+DH temelli 3B videolar Standard Definition (SD-704x576 piksel) boyutunda, 25 görüntü hızında, 3 farklı bit oranında (768, 1024 ve 1536 kbps) Joint Scalable Video Model (JSVM) kodek versiyon 9.13.1 [56] kullanarak kodlanmıştır.

Tezde 2B+DH temelli 3B videolarda VKD yapan Referanssız bir metrik geliştirmek için 3 algoritma oluşturulmuştur. Birinci algoritma, videonun hareketini ve hızını hem uyarlanabilir hem de dinamik hassasiyet değerine göre ölçüm yapmaktadır. İkinci algoritma, videodaki objelerin ve videonun arka planının Yapısal Karmaşıklık (YK) bilgisine dayalı ölçüm yapmaktadır. Son algoritma ise, videonun kontrastını istatistiksel metodlar kullanarak hesaplamaktadır. Tezin bu bölümünde yukarıda bahsi geçen algoritmalar ayrıntılı bir şekilde anlatılacak ve elde edilen sonuçlar neticesinde geliştirilen metriktan bahsedilecektir.

3.1.Hareket ve Hız Analizi Algoritması (HHAA)

Bu bölümde, 2B+DH temelli 3B videoların 2B kısımlarında hareket ve hız analizleri yapılmıştır. Bu analizler neticesinde geliştirilen hareket ve hız ölçüm algolaritması anlatılacaktır. Gerçekleştirilen bu algoritma görüntü farkı (Frame Differencing) [57, 58] ve piksel bazlı hassasiyet (Threshold) [59] değeri belirleme temelli bir algoritmadır.

Hareketli nesnelere bulmada en önemli methodlar optik akış (optical flow) ve arka plan çıkarma temelli görüntü farkı yaklaşımı yöntemleridir [60]. Optik akış zamanla hareketi değişen nesnenin hızının yapısal özelliklerini kullanır ve hem durağan hem de dinamik arka plana sahip görüntüler için uygundur. Ama karmaşık hesaplanma yapısına sahip olmasından ve zayıf gürültü önleyici performansından ötürü, gerçek zamanlı işleme için özel donanım gerekmektedir [59]. Arka plan çıkarma yöntemi sabit arka plana sahip görüntülerde hareketli nesnelere tanıyabilmektedir. Fakat pratik uygulamalarda ve birçok video dizisinde ışığın değişmesiyle, yerel arka plan hareketiyle, hareketli nesnenin yeni bir arka plana sahip olması gibi sebeplerle arka plan değişir. Bu yüzden arka plan değişimini gerçek zamanlı güncellememiz gerekir. Burada yeni arka plan modelin arka plan değişimine yeterli hızda cevap verilmesi ve

de yüksek anti-girişim kabiliyeti dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardır [60]. Görüntü farkı yaklaşımı arka plan çıkarma metodu temeline dayanan arka plandan ön plan ya da hareketli nesneyi ayırmaya yarayan bir hareket tespit algoritmasıdır. Bu algoritmanın da en basit uygulanma yolu ise t zamanında alınan görüntüyü arka plan olarak kullanıp, sonraki görüntülerden bu arka plan görüntüsünü çıkarmaktır [62]. Görüntü farkıyla elde edilen görüntüde iki görüntü arasındaki değişen piksel yerlerindeki bazı yoğunluklar gösterilir. Dolayısıyla bu yaklaşım genelde arka planın olabildiğince statik, ön plandaki nesnelere ise hareketli olduğu görüntülerde iyi sonuçlar elde eder [63]. Hareketli nesnelere daha iyi tespit etmek adına fark alma işleminde bir hassasiyet değeri belirlenir. Bu görüntü pikselleri farkının bir hassasiyet değerine göre filtrelenmesi anlamını taşır [64]. Bu yaklaşımın doğruluğu sahnedeki hareketin hızına bağlıdır. Yani hızlı hareketlerin yüksek hassasiyet değeriyle filtrelenmesi yavaş hareketlerin düşük hassasiyet değeriyle filtrelenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla videonun türüne göre hassasiyet değeri belirlemek bu yaklaşımın bir başka zorluğudur. Bu yöntemin avantajı ışığın değişimine az hassasiyete sahip olması, hızlı arka plan güncellemesi ve iyi adaptif performansa sahip olmasıdır. Fakat büyük nesnelere ve özdeş renkler arası arka plan çıkarma yönteminde giriş video görüntüleri ile arka plan görüntüleri arasındaki hareketli nesnelere bulmakta başarılı değildir [65].

Bu tezde geliştirilen hareket hesaplama ve hız bulma algoritması görüntü farkı yaklaşımının yukarıda bahsedilen hızlı arka plan güncellemesi avantajını kullanmaktadır. Literatürde bulunan arka plan çıkarma temelli görüntü farkı yaklaşımı algoritmalarından farkı da arka plan görüntüsünün ortalama piksel değerlerine göre uyarlanabilir ve dinamik bir hassasiyet değeri çıkarılmasıyla video hareketinin hesaplanmasıdır.

3.1.1. HHAA'nın İncelenmesi

Videolarda hareketli nesnelere görüntü kalitesini nasıl etkilediğini gözlemlemek için öncelikle kodlanan 2B video görüntülere ayrılmış ve her bir görüntüde ilk görüntüler

referans görüntü olarak kullanılmak üzere elde edilmiştir. Şekil 3.2’de *Chess*, *Interview* ve *Windmill* videolarına ait ilk görüntüler gösterilmektedir.



(a)



(b)

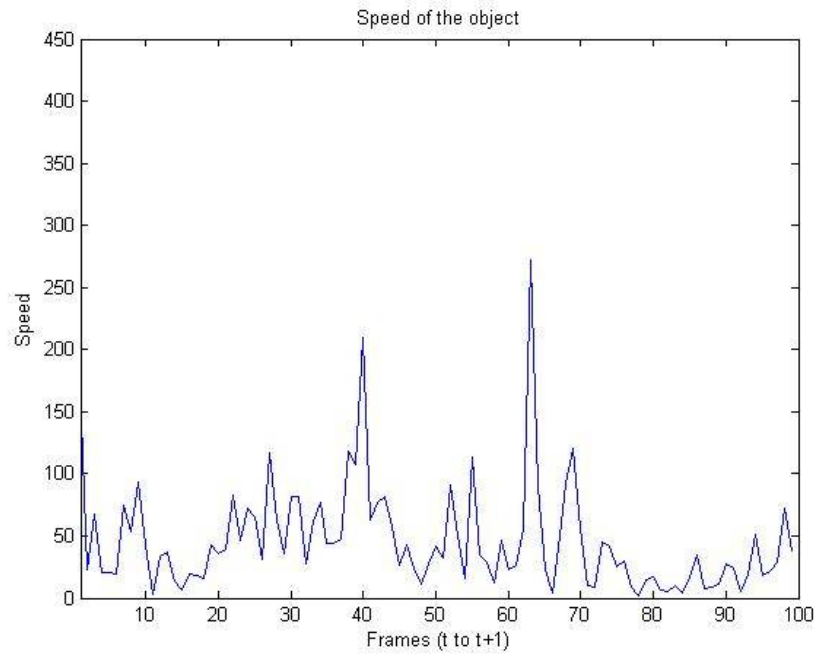


(c)

Şekil 3.2 *Chess*, *Interview* ve *Windmill* videolarının ilk görüntüleri

Ayrıca *Interview* videosuna ait farklı görüntüler Şekil 3.3’te ve hız eğrisi Şekil 3.4’te gösterilmektedir. Hız eğrisi üzerinde hareketin hızlanma ve yavaşlamasına ait analizini yaptığımızda görüntü#60’ten görüntü #63’ya geçerken görüntülerin hızlandığı, görüntü#28’den görüntü#31’e geçerken görüntünün hızının yavaşladığı rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.4’te gösterildiği gibi yukarıda bahsi geçen görüntüler

videodan çıkarılıp incelendiğinde de görüntü#60'ten görüntü #63'ya geçerken beyaz piksel sayısının arttığı artan beyaz piksellerin ağırlık merkezinin değiştiği ve görüntü#28'den görüntü#31'e geçerken beyaz piksel sayısının azaldığı ve azalan beyaz piksellerin ağırlık merkezinin değiştiği sonuç olarak yukarıdaki sonucun birbiriyle örtüştüğü gözlemlenmektedir. Hızlanan ve yavaşlayan cisimlerin İGS'de 3B hissini artırdığından Bölüm 2'de bahsetmiştik. Bu yüzden VKD için oluşturduğumuz metrikte hızın varyansını bir değişken olarak kullanacağız.



Şekil 3.3 *Interview* videosuna ait hız eğrisi



(a)Görüntü # 28 , (b)Görüntü #31

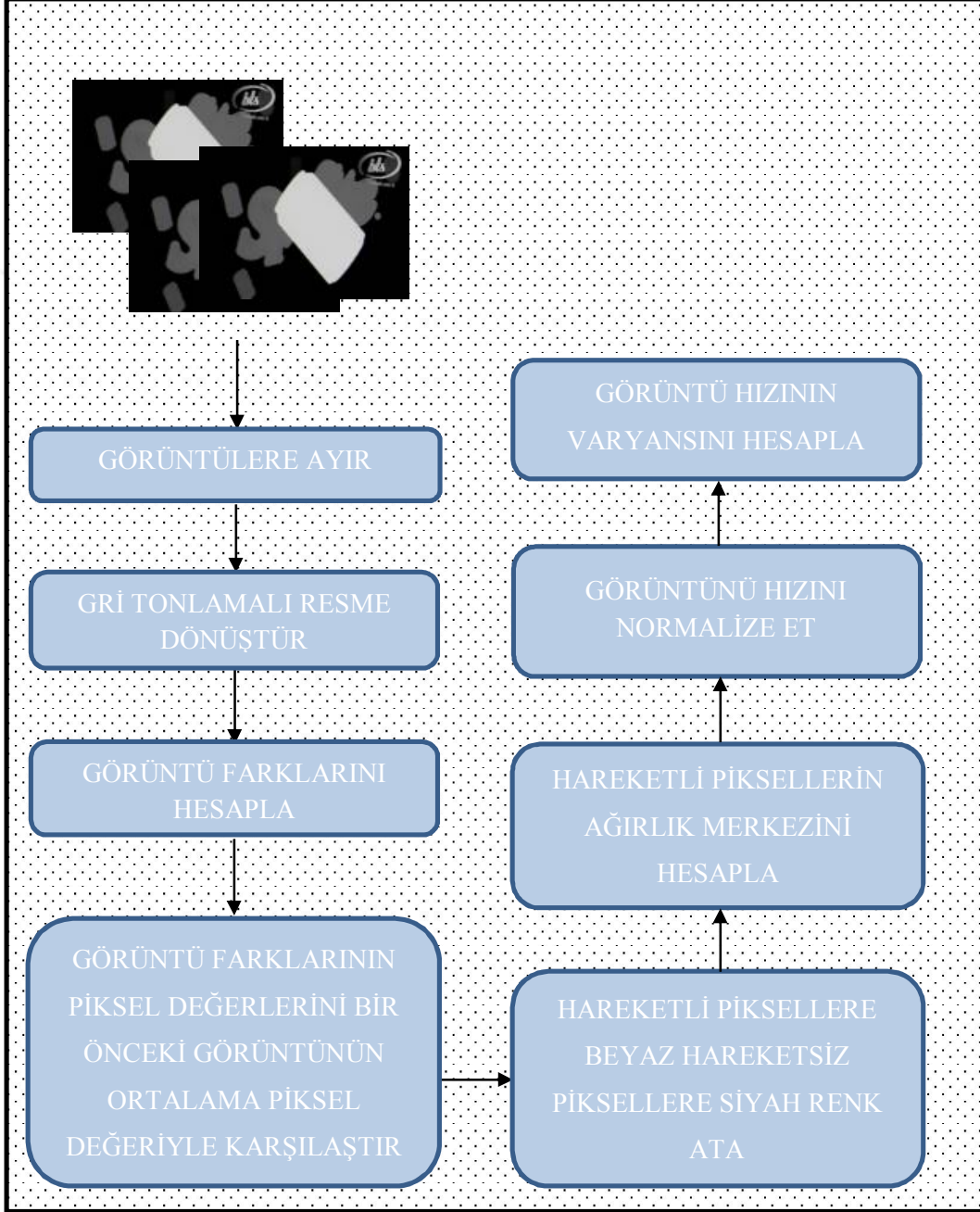


(c)Görüntü #60 (d) Görüntü #63

Şekil 3.4 *Interview* videosuna ait görüntü değişimleri (a) görüntü#28 (b) görüntü#31, (c) görüntü#60, (d) görüntü#63

3.1.2. HHAA'nın Ölçümü

Bölüm 3.1.1' deki bahsedilen analizler ışığında 2B videoların global görüntü hızı ve hızının varyansının ölçülebilmesi için Şekil 3.5'te gösterilen blok diyagram tasarlanmıştır.



Şekil 3.5 Hareket ve hız analizi algoritmasının blok diyagramı

Blok diyagramda da gözlemlendiği gibi algoritmada ilk olarak 2B+DH temelli 3B videoların 2B videoları görüntülerine ayrılıp, ardından her bir görüntü gri tonlamalı görüntülere dönüştürülmektedir. Bunları takiben gri tonlamalı görüntüler birbirinden çıkarılarak görüntü farkları hesaplanır. Bahsedilen bu görüntü farkı hesaplama yöntemi denklem (3.1)'de gösterilmiştir.

$$Farkkare = \sum_{k=1}^{GS} rgb2gray(fr - fr1) \quad (3.1)$$

Burada *Farkkare* gri tonlamalı görüntülerin fark görüntülerini, *fr1* güncel görüntü öncesindeki görüntüleri *fr* ise güncel görüntüleri göstermektedir.

Daha sonra her bir görüntünün hareketli piksellerine beyaz hareketsiz piksellerine siyah atanmıştır. Hareketli pikseller bulunurken deneylerden elde edilen veriler sonucu bulunan hassasiyet değeri neticesinde beyaz renk atanır. Algoritma da yenilik olarak geliştirilen hassasiyet hesaplama yöntemi güncel görüntü farkından önceki görüntü farkı için ortalama piksel değeri hesaplanarak bulunur. Hesaplanan ortalama piksel değeri hareketi hesaplamak için kullanılan ifade için sürekli olarak güncellenir. Bu işlem video süresince tüm görüntülere uygulanır. Hassasiyet hesaplama yöntemi denklem (3.2)'de ve hareketli piksellerin nasıl bulunduğunu gösteren matematiksel ifade de denklem (3.3)'de gösterilmiştir.

$$Threshold = \frac{1}{YxG} \sum_{i=1}^Y \sum_{j=1}^G fark_{kare-1}(i,j) \quad (3.2)$$

$$Sonuckare = \left\{ \left(1, if \sum_{i=0}^Y \sum_{j=0}^G fark_{kare}(i,j) \sum_{k=1}^{GS} (fr - fr1) > T \right) \right. \\ \left. (0, Otherwise) \right\} \quad (3.3)$$

Burada *GS* videodaki toplam görüntü sayısı, *G* görüntünün genişliği, *Y* görüntünün yüksekliği, *fark_{kare}(i,j)* fark görüntülerindeki her bir piksel değerini, *T* hassasiyet

değerini göstermektedir. Denklem 3.3'te gösterilen formül ile elde edilen sonuçlar hassasiyet değeriyle karşılaştırılıp hassasiyet değerinden büyük olan piksel değeri beyaza boyanıp *sonuckare* ifadesine atanmıştır. $fark_{kare-1(i,j)}$ güncel görüntüden çıkarılacak olan görüntünün piksel değerlerini göstermektedir. *Threshold* ifadesi güncel görüntüden çıkarılacak olan görüntünün ortalama piksel değerlerini ifade eder. *Sonuckare* ise dinamik olan değişen hassasiyet değeriyle farkkare ifadesini karşılaştırarak hareketli piksellere 1(bir) hareketsiz piksellere 0 (sıfır) atayan değişkeni göstermektedir.

Sonuckare ifadesi sonucu elde edilen görüntünün ağırlık merkezi hesaplanabilmesi için görüntünün X ve Y yönünde ağırlık merkezleri bulunmuş X ve Y ağırlık merkezleri üzerinden her bir görüntünün global ağırlık merkezi hesaplanmıştır. Ağırlık merkezi piksellerin ağırlıklarınca karşılaştırılıp ağırlıklı ortalaması bulunarak hesaplanmıştır.

X ve Y yönünde hesaplanan ağırlık merkezleri ve görüntünün global ağırlık merkezi ayrı ayrı hesaplanmıştır. X yöndeki ağırlık merkezini gösteren ifade denklem (3.4) ve (3.5)'te, Y yöndeki ağırlık merkezini gösteren ifade denklem (3.6) ve (3.7)'te gösterilmektedir.

$$Xhist = \sum_{j=1}^G sonuckare(1, j) \quad (3.4)$$

$$CentX = \frac{\sum_{X=1}^Y XxXhist}{\sum Xhist} \quad (3.5)$$

$$Yhist = \sum_{i=1}^Y sonuckare(i, 1) \quad (3.6)$$

$$CentY = \frac{\sum_{Y=1}^G YxYhist}{\sum Yhist} \quad (3.7)$$

Burada X_{hist} , X yöndeki hareketli piksellerin toplamı, $CentX$, X yöndeki piksellerin ağırlıklı ortalamasının bulunduğu vektörü göstermektedir. Y_{hist} , Y yöndeki hareketli piksellerin toplamı, $CentY$, X yöndeki piksellerin ağırlıklı ortalamasının bulunduğu vektörü göstermektedir.

Hesaplanan ağırlık merkezleri arasındaki fark bize her bir görüntünün Hareket Vektörünü bulmamızı sağlamıştır. HV'ü bulunurken Öklid'in mesafe formülleri kullanılmıştır. HV'ünü gösteren matematiksel ifade denklem (3.8)'te gösterilmiştir.

$$MV = \sum_{i=1}^{GS} \sqrt{(SonucX(i+1) - SonucX(i))^2 + (SonucY(i+1) - SonucY(i))^2} \quad (3.8)$$

HV'ü bulunabilmesi için $CentX$ ve $CentY$ ifadeleri $SonucX$ ve $SonucY$ vektörlerinde tüm görüntüler için bir araya getirilmiştir. Burada $SonucX$ i. görüntünün X yönündeki ağırlık merkezi, $SonucY$ ise i. görüntünün Y yönündeki ağırlık merkezini ifade etmektedir. $SonucX$ 'in ve $SonucY$ 'nin güncel ve önceki değerleri baz alınarak Öklid mesafe formülü ile hareket vektörü hesaplanmıştır.

Burada HV'leri hesaplanan görüntü üzerinden ise görüntü hızı ve tezimizde kullanacağımız görüntü hızının varyansı hesaplanmıştır. Görüntü hızı hesaplanırken görüntüler kodlanma görüntü hızı ile normalize edilmiş ardından ortalama görüntü hızı ve hızın varyansı hesaplanmıştır. Bahsedilen ortalama görüntü hızı ve görüntü hızının varyansının hesaplanmasını gösteren matematiksel ifade denklem (3.9), (3.10)'da ve (3.11)'da gösterilmiştir.

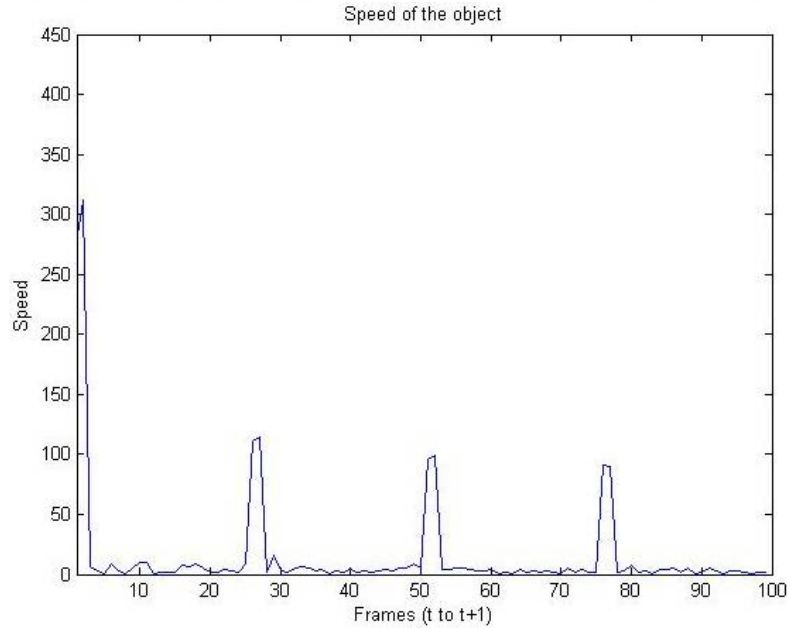
$$Ort = mean\left(\frac{MV}{GH}\right) \quad (3.9)$$

$$M = var\left(\frac{MV}{GH}\right) \quad (3.10)$$

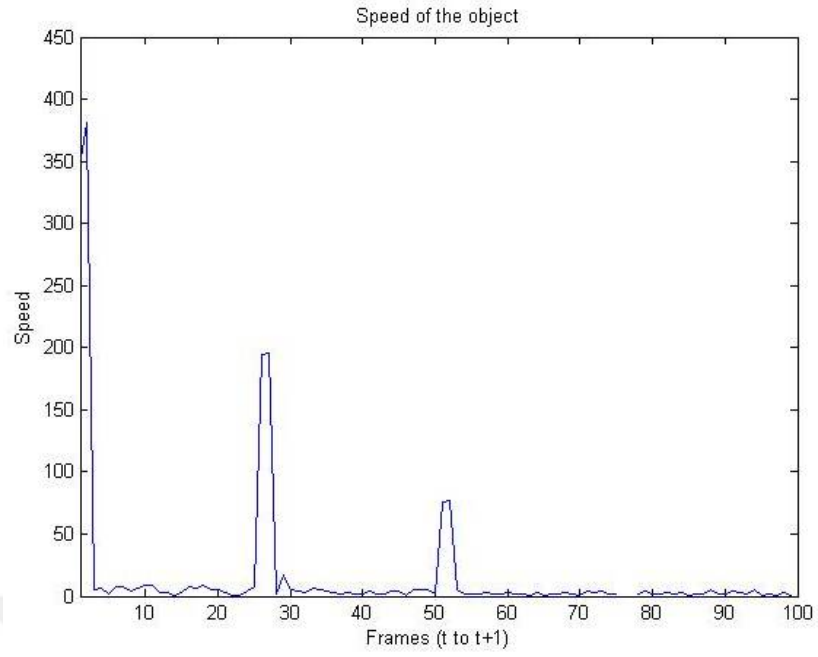
Yukarıdaki denklemlerde kullanılan GH videonun kodlanma aşamasında kullanılan saniye başına düşen görüntü sayısını ifade etmektedir. Elde Edilen M katsayısı normalize edilmiş görüntü hız varyansıdır.

3.1.3. HHAA'nın Sonuçları

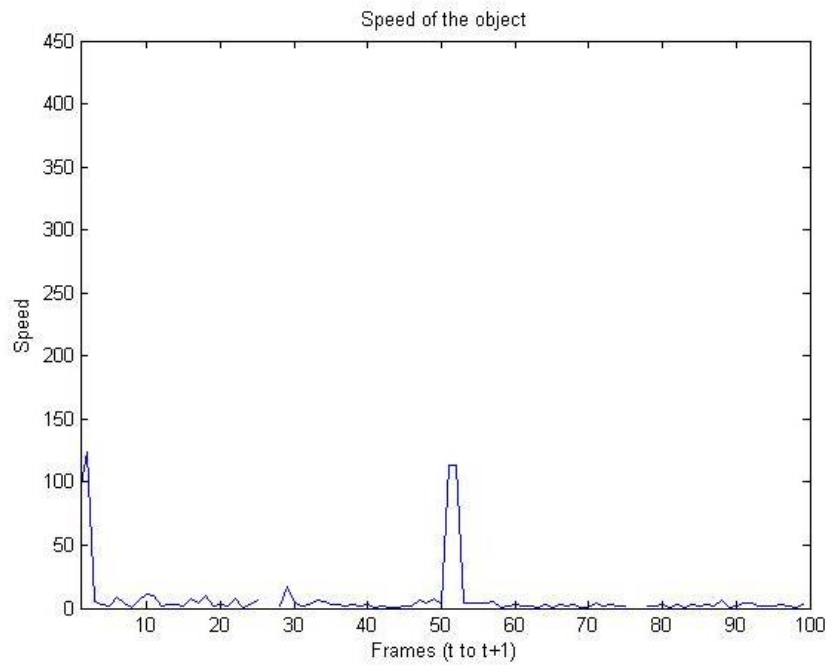
Tasarlanan hareket ve hız ölçüm algoritması, 3 farklı bit oranında (768, 1024, 1536 kbps) kodlanmış 3 video (*Windmill*, *Interview* ve *Chess*) için uygulanmıştır. Videoların kodlanması Bölüm 3.1.1'de bahsedildiği şekilde yapılmıştır. Bu 3 oranda kodlanan 3 farklı videonun görüntülerinin hızlarını içeren grafikler Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6 incelendiğinde *Chess* videosu için bit oranı arttıkça videonun sabit olmayan kameranın yer değiştirmelerine karşı adaptasyonunun artmış olduğu gözlemlenmektedir. *Interview* videosu için kamera sabit olmasının yanında videodaki kişilerin bedeni görüntünün tamamını kaplamakta ve aynı zamanda hareketleri ağırlık merkezini değiştirecek şekilde X-Y düzleminindedir. Bu sebeple görüntünün ağırlık merkezindeki yer değişimi grafiklerdeki gibi hareketlerdeki gibi ani ve dalgalıdır. *Windmill* videosu için ise 24. görüntüdeki değişimi tüm bit oranları için hemen hemen aynı seviyelerde yakalandığı, bit oranı arttıkça kalitenin de artması sebebiyle hızın gürültülerden etkilenme oranının azaldığı dolayısıyla da ortalamasının düştüğü varyansın azaldığı gözlemlenmiştir. *Windmill* videosunun ortalama hızının az çıkmasının bir diğer sebebi ise hareketin Z yönünde gerçekleşmesidir.



Şekil 3.6 Farklı bit oranlarında kodlanan (a)*Chess* 768 (b)*Chess* 1024, (c)*Chess* 1536, (d)*Interview* 768, (e)*Interview* 1024, (f) *Interview* 1536, (g) *Windmill* 768, (h) *Windmill* 1024, (i) *Windmill* 1024 videoların hız eğrisi

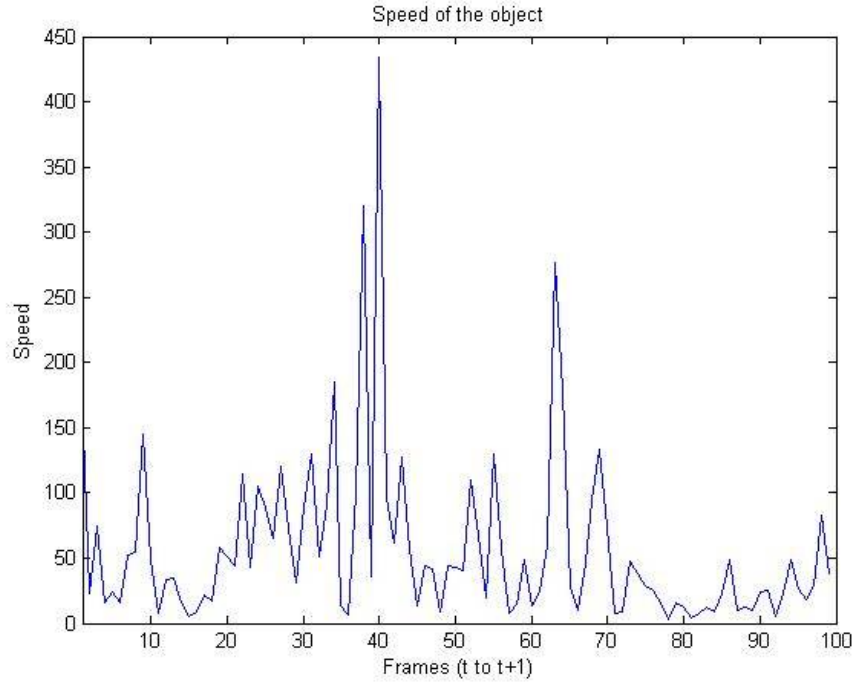


(b)

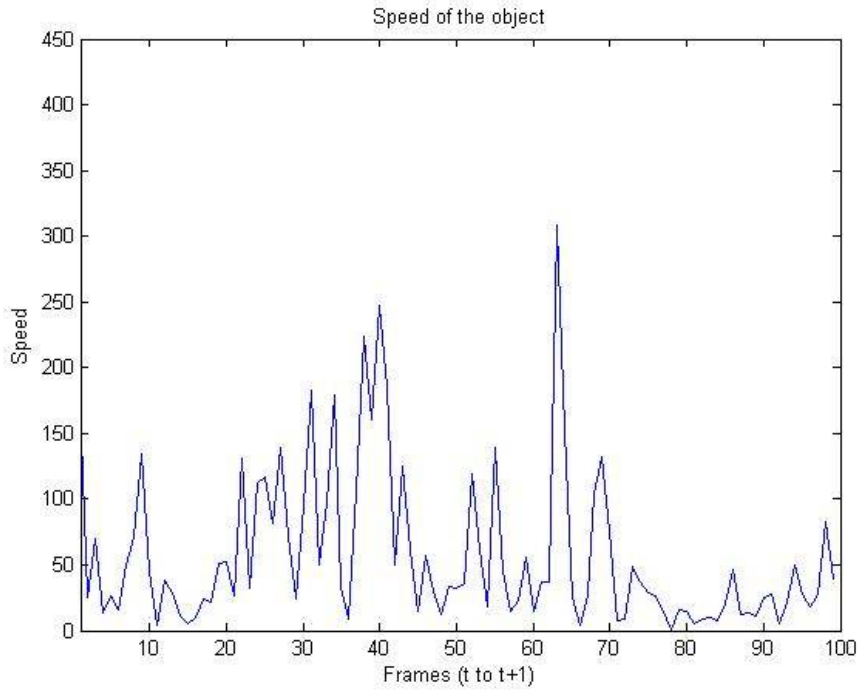


(c)

Şekil 3.6 (Devam)

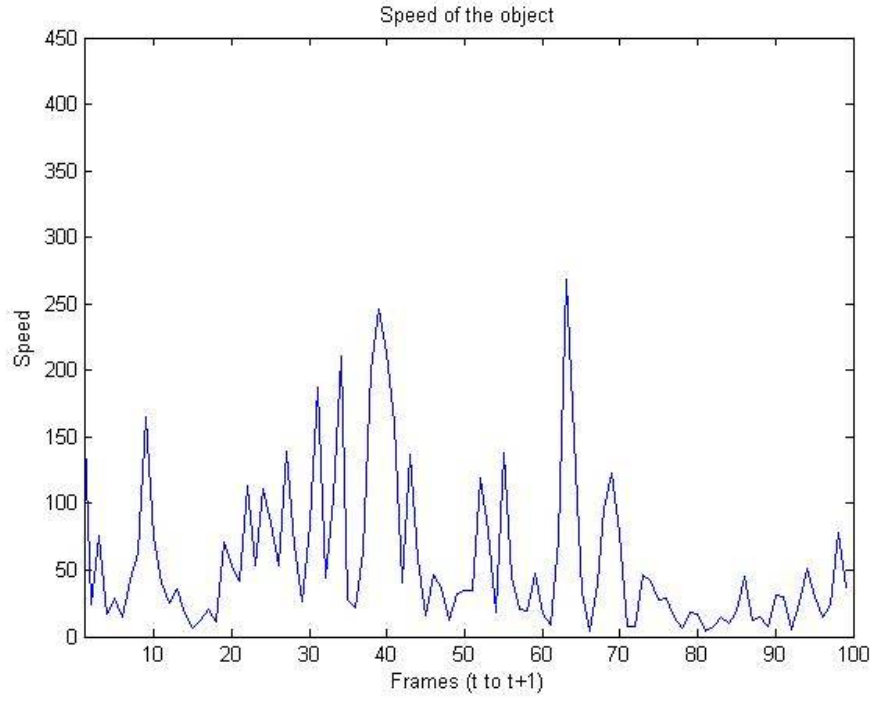


(d)

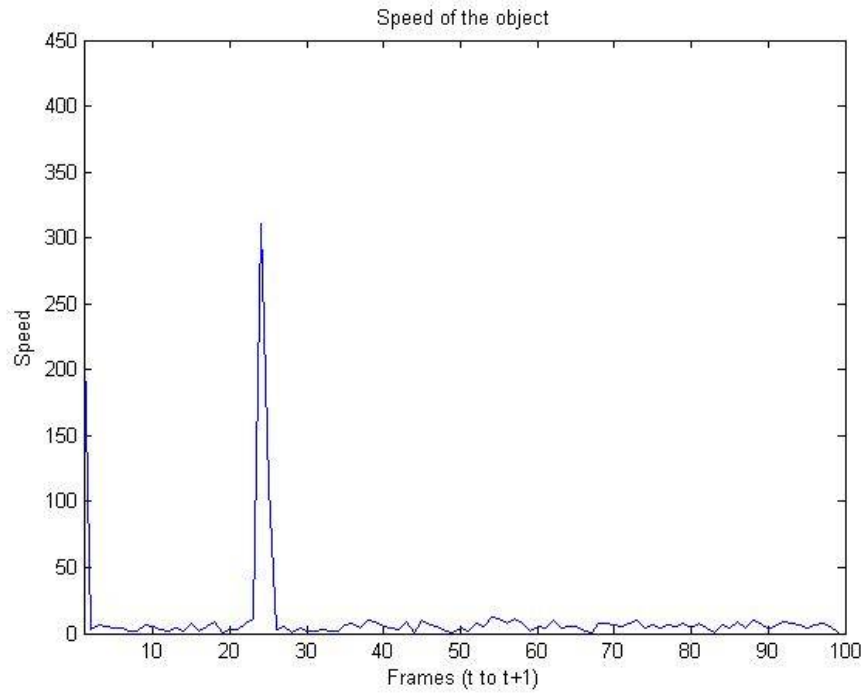


(e)

Şekil 3.6 (Devam)

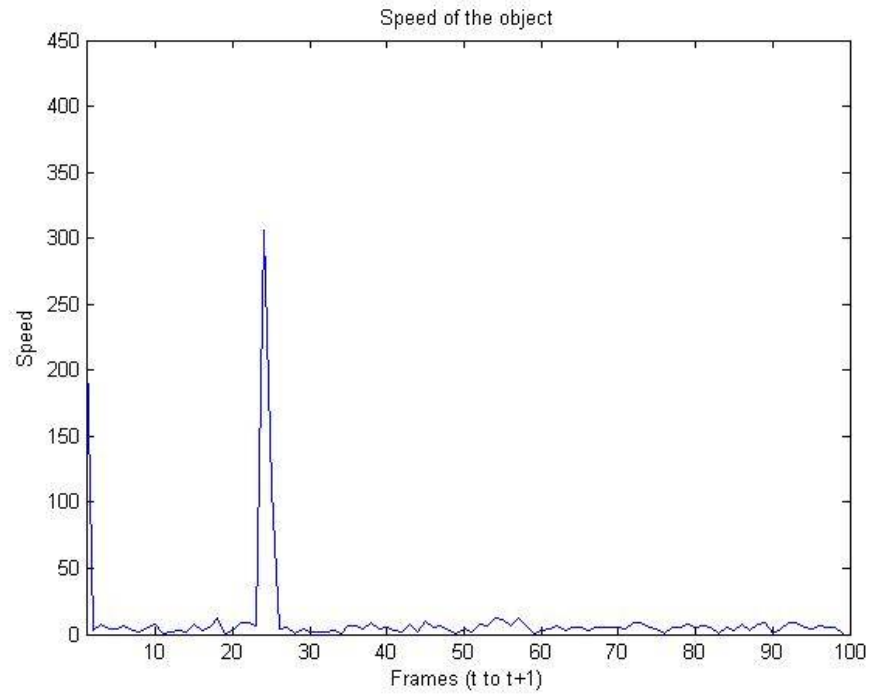


(f)

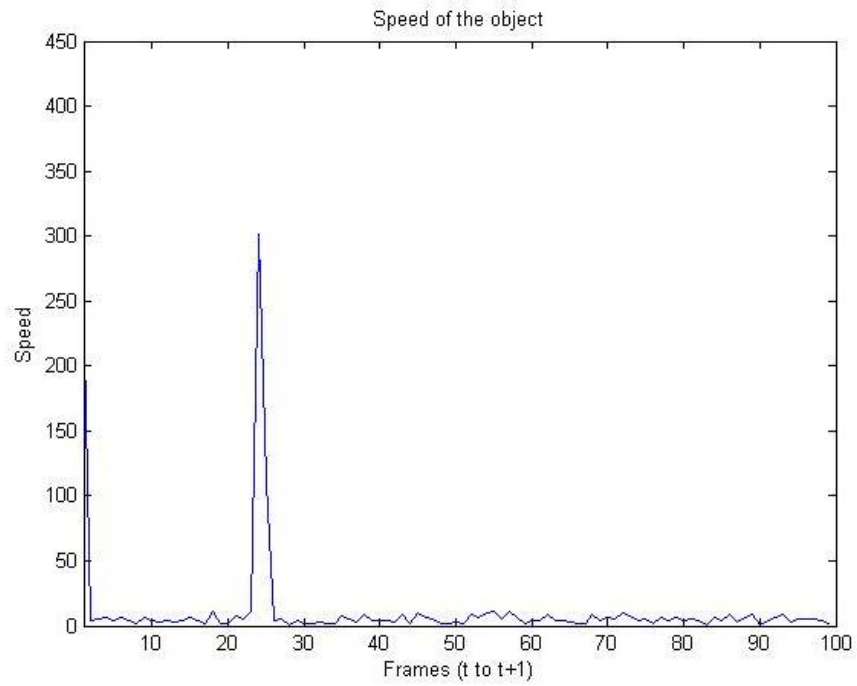


(g)

Şekil 3.6 (Devam)



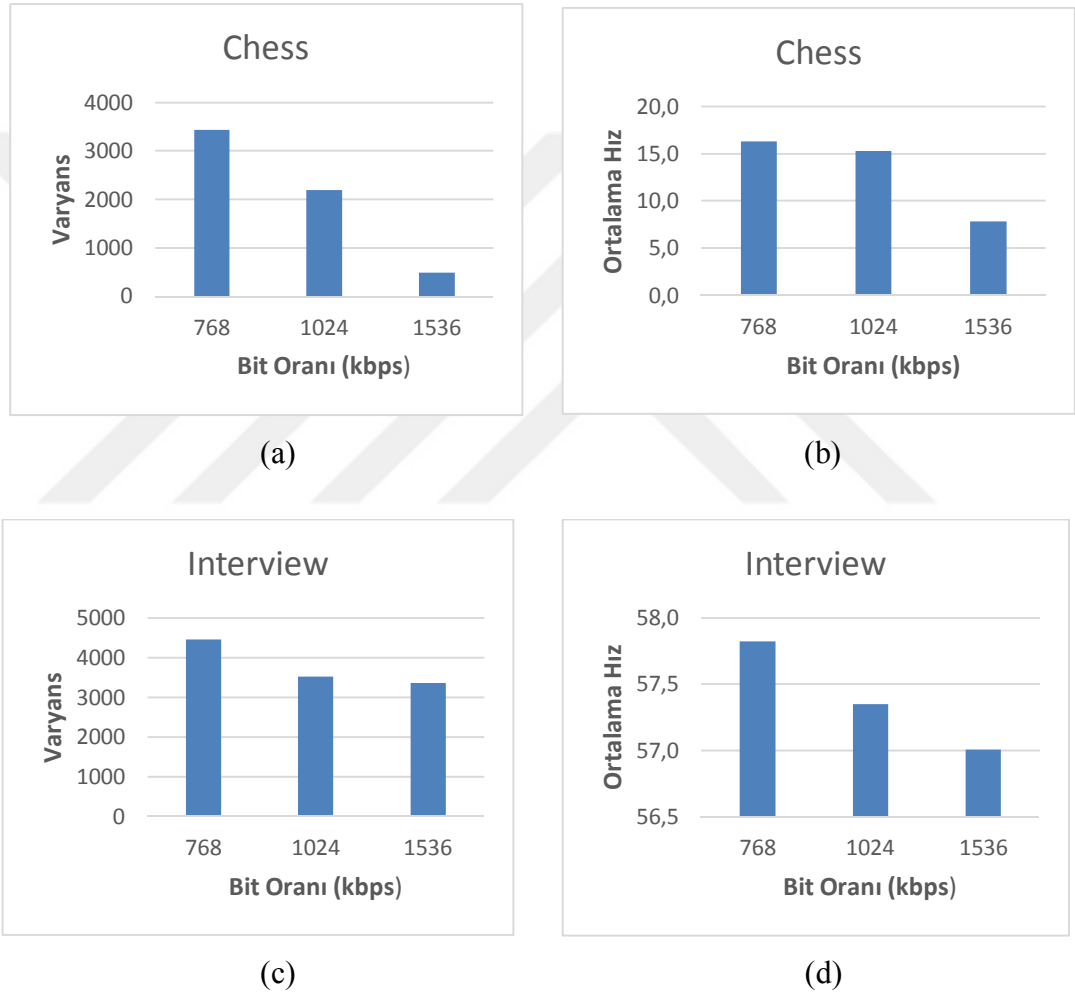
(h)



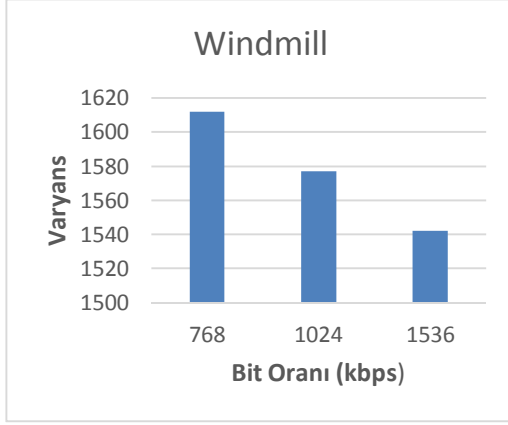
(i)

Şekil 3.6 (Devam)

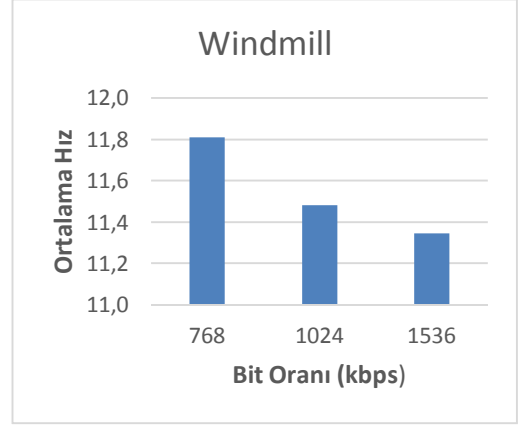
Şekil 3.7'deki grafiklerde verilen ortalama hız ve varyans formül (3.9) ve (3.10) kullanılarak elde edilmiştir. Bit oranı arttıkça kalitenin de artması sebebiyle hızın gürültülerden etkilenme oranının azaldığı dolayısıyla da ortalamanın düştüğü varyansın azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.7'de üç farklı video için ayrı ayrı çizilen grafikler incelendiğinde bit oranının artması ortalama hız ve varyansın azalmasına yol açmıştır.



Şekil 3.7 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) (b) *Chess*, (c) (d) *Interview*, (e) (f) *Windmill* videoların ortalama hız ve varyans değişim grafikleri.



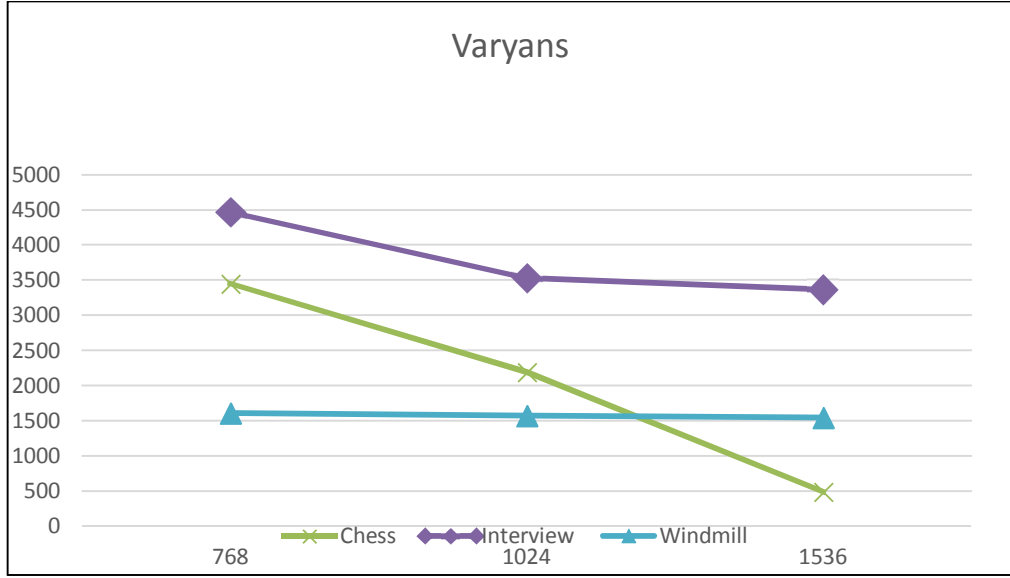
(e)



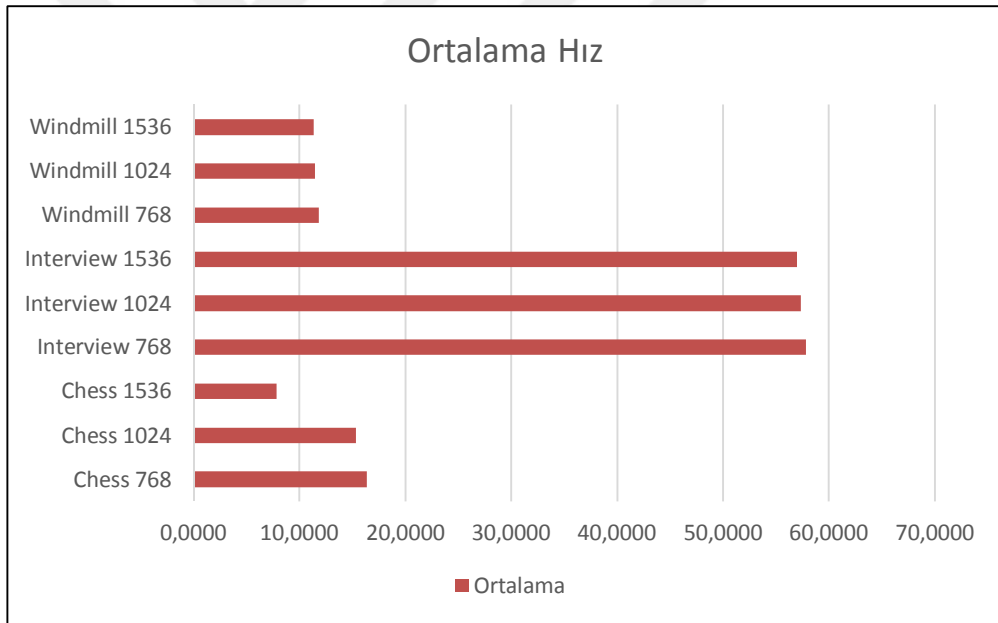
(f)

Şekil 3.7 (Devam)

Şekil 3.8'da ise farklı bit oranlarında kodlanan farklı tarzda videoların varyans ve ortalama hız açısından nasıl etkilendikleri kıyaslanmıştır. *Chess* videosu ortalama hız değerlerinde 768 kbps'den 1024 kbps'ye geçerken %6,3 azalırken, 1024 kbps'den 1536 kbps'ye geçerken %48 oranında azalmıştır. Varyans değerlerinde değerlerinde 768 kbps'den 1024 kbps'ye geçerken %36, 1024 kbps'den 1536 kbps'ye geçerken %77 oranında dramatik bir şekilde azalmıştır. Diğer videolar içinse durum *Chess* videosundan biraz farklıdır. *Windmill* videosunda ortalama hız ve varyans değerleri kbps oranı arttıkça yaklaşık %2 oranında azalmıştır. *Interview* videosunda ise ortalama hız değerleri neredeyse birbirlerinin aynı olmasına karşın varyans değerleri 768 kbps'den 1024 kbps'ye geçerken %21, 1024 kbps'den 1536 kbps'ye geçerken %4,6 oranında azalmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.8 Farklı bit oranlarında kodlanan *Chess*, *Interview* ve *Windmill* videolarının (a) Varyans (b) Ortalama hız değerlerinin karşılaştırılması.

Geliştirilen bu çalışma sayesinde, farklı tarzda ve farklı hızda kodlanan videoların hareketi hesaplanarak global görüntü hızı ve görüntü hızının varyansı tespit edilebilir ve videolar hızlarına ve hız değişimlerine göre verimli bir şekilde sınıflandırılabilir.

3.2. Yapısal Karmaşıklık Algoritması (YKA)

2B + DH temelli 3B videoların 2B temelli YK'ı tezin bu bölümünde incelenecektir. Videolar yapısı itibariyle birbirlerinden farklı karmaşıklığa sahiptir. Farklı karmaşıklık yapısı nedeniyle de farklı seviyede karmaşıklık bilgisi içermektedir. 2B + DH temelli 3B videoların karmaşıklık seviyesinin ölçülebilmesi için öncelikle 2B'lük yapıları incelenmiş ve ardından YKA dizayn edilmiştir.

3.2.1. YKA' nın İncelenmesi

3B nesnel VKD metriği oluşturmadaki genel amaç son kullanıcı tarafında deneyimlenen video kalitesini İGS'nin algısına en yakın şekilde ölçmektir. Deneyimlenen video kalitesi de kenar, arka plan ve özyapı (texture) gibi videonun yerel özelliklerine fazlasıyla bağlıdır. Bu özelliklerden kenar bilgisi genellikle resmin birçok özelliğini taşımaktadır ve çalışmalar İGS'nin kalite değerlendirmede videonun kenar bilgilerini içeren YK'ı ile yüksek uyumluluğunu göstermiştir [42]. Ayrıca, kalite ölçümünde YK'ın kullanılmasının en önemli nedeni İGS' nin videodan yapısal bilgi çıkarılamaya videolardaki hatalardan daha hassas olmasıdır [66].

Literatürde kullanılan çok fazla sayıda kenar bilgisi çıkarma yöntemleri vardır. Aslında bu metotlar temelde iki yönteme dayanmaktadır. Bunlardan biri "Gradient" temelli yöntemlerdir. Bu metotta görüntünün birinci türevinin maksimum ve minimum noktalarına bakılarak kenarlar tespit edilir. En popülerden biri olan Sobel [67, 68] kenar bulma algoritması bu metodu kullanarak kenarları tespit eder. Bu metotta eğer gradient değeri hassasiyet (threshold) değerinden yüksekse pikselin bulunduğu nokta kenar noktası olarak tanımlanabilir. Diğer metot ise "Laplacian" metottur. Bu metotta ise kenarlar ikinci türevin sıfır noktalarını kestiği yerler taranarak elde edilir. Bu tezde,

detayları daha sonra açıklanacak olan yüksek hassasiyete ve verimliliğe sahip Laplacian metot temeline dayanan klasik Canny algoritması kullanılmıştır [69, 70].

Gürültünün video kalitesinin düşmesinde en önemli faktör olduğunu öngörmekteyiz. Bu metrikte, 2B video görüntülerinin düşük frekanslı bileşenlerini filtreleyen ve yüksek frekanslı ve yapısal bilgileri barındıran bileşenlerini geçiren LOG filtre kullanılmıştır. Bu filtre Canny algoritmasıyla da uyumlu olarak çalışması sebebiyle de tercih edilmiştir [70].

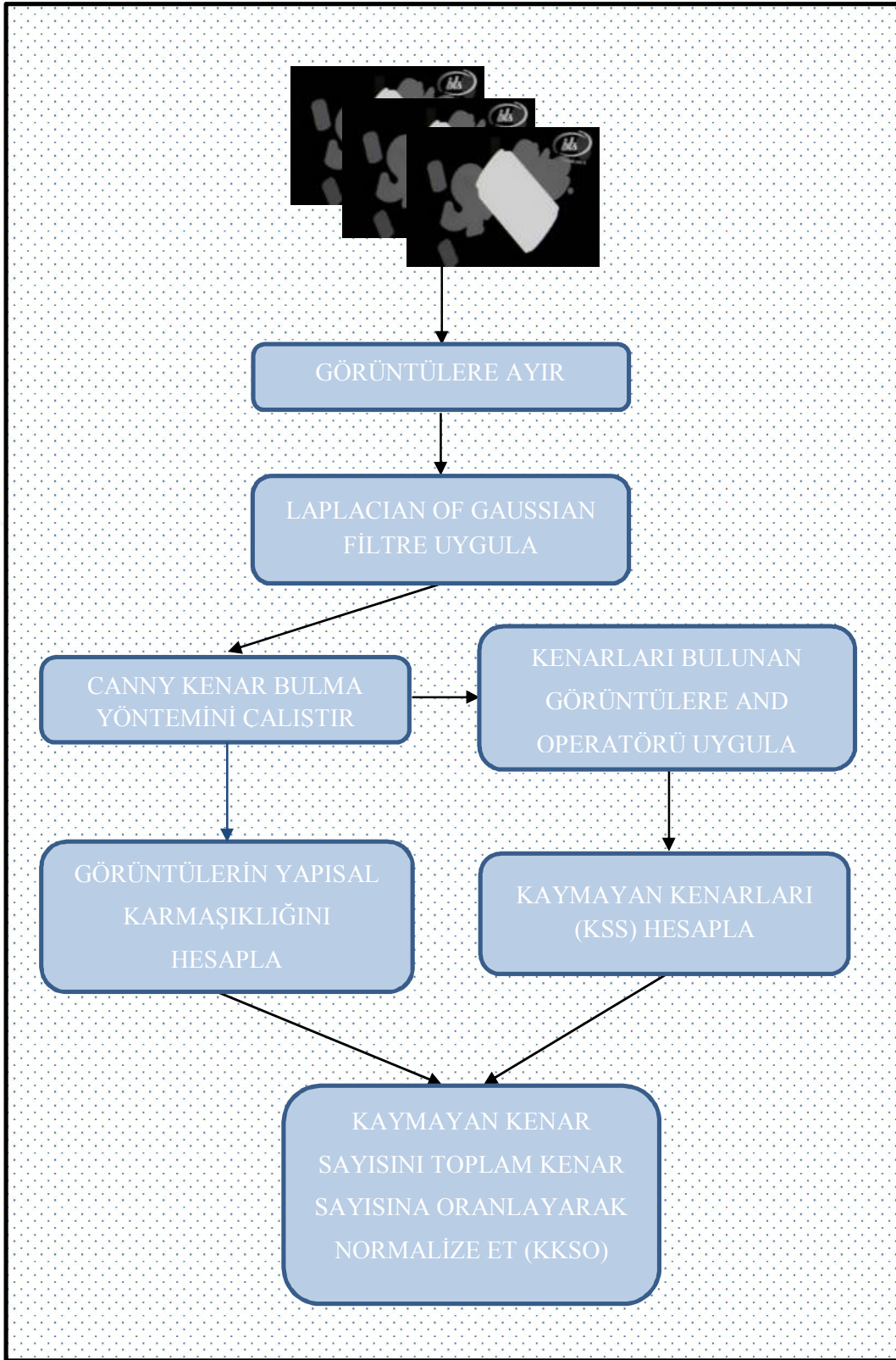
Bu bilgiler ışığında, bu tezde özellikle farklı hızlarda kodlanmış ve farklı kenar bilgilerine sahip 2B+DH bazlı 3B videoların 2B videoları üzerinde YK'ları araştırılmış ve geliştirilen algoritma ile ölçülmüştür.

3.2.2. YKA' nın Tasarlanması

Şekil 3.9'de gösterilen blok diyagram 2B + DH temelli 3B videolarda 2B videonun YKA ölçümü için tasarlanmıştır.

Şekil 3.9'da bulunan blok diyagramında da gözlemlendiği gibi 2B+DH temelli videolar önce görüntülerine ayrılmıştır. Ardından her bir görüntü için LoG filtre uygulanmıştır.

Bilindiği üzere bir görüntünün yapısı görme yollarının farklı aşamalarındaki çeşitli yöntemler ile çıkarılabilir. LoG fonksiyonu görüntünün temel ilkel yapılarını üretildiği için görme yollarının farklı aşamalarını ifade edebilmektedir [71]. Marr teorisine göre ilkel yapılar görüntünün İGS son aşamalarında bulunan semantik/anlamsal bilgilerini temsil etme bakımından çok önemlidir. Özellikle, temel ilkel yapıların sahip olduğu çoğu bilgi sıfır geçişlerinin oluşturduğu kenar bilgileri ile taşınmaktadır [72].



Şekil 3.9 YKA algoritmasının blok diyagramı

LoG operatörü görüntünün ikinci dereceden uzamsal türevini hesaplar. Bu görüntüde sabit piksel yoğunluğunun olduğu alanlarda yani yoğunluk gradyanının sıfır olduğu yerlerde LoG sonucu sıfır olduğu anlamına gelir. Yoğunlukta değişikliğin olduğu durumlarda ise LoG sonucu görüntünün karanlık bölümlerinde pozitif, aydınlık olduğu bölümlerde ise negatiftir. Denklem 3.11’te LoG filtrenin formülasyonu gösterilmiştir.

$$LoG(i, j) = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}} \quad (3.11)$$

Burada $LoG(i, j)$, i ve j piksel koordinatlarındaki LoG filtre cevabını, σ ise Gauss dağılımının standart sapmasını göstermektedir.

Denklem 3.12’te ise her bir görüntünün LoG filtresiyle konvolüsyonu gösterilmiştir.

$$\beta_i = LoG(i, j) * R(i, j) \quad (3.12)$$

β_i , LoG filtresi uygulanan görüntüleri, $R(i, j)$ ise video boyunca bulunan her bir görüntüyü ifade etmektedir [73].

Daha sonra LoG operatörüyle filtrelenen görüntülerin Canny kenar bulma algoritması yardımıyla kenar bilgileri çıkarılır. Video görüntülerindeki nesnelere sınırlarının karakterize eden kenar bilgisi, renkli özyapı dizisinin yapısal özelliğini temsil etmektedir. Canny kenar bulma algoritması ise, video görüntülerindeki kenarları pikselleri bastırmadan bulan ve kenar değerlerine 1 atayan bir algoritmadır. Videonun yapısal özellik algoritmasının geliştirmek için ise videodaki her bir görüntünün 1 yapılan (yani kenarlarını) pikselleri toplanmıştır [66, 74]. Denklem (3.13)’te Canny kenar bulma algoritmasıyla kenar bilgileri bulunan filtrelenen görüntülerin TC ile toplam kenar bilgileri gösterilmiştir.

$$TC = \sum_{k=1}^{frame_count} \beta_i \quad (3.13)$$

Bu tezde YKA’nı orijinal pozisyonlarını koruyan kenar bilgi sayısının toplam kenar sayısı ile normalize ederek geliştirdik. Çünkü iletilen görüntünün orijinal kenar

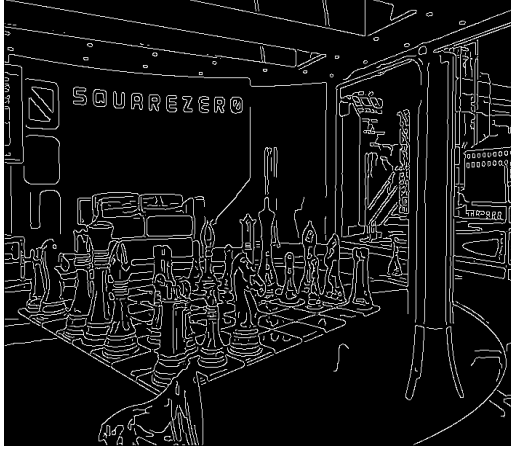
pozisyonlarını koruyan kenar bilgilerinin sayısının VKD için kritik öneme sahip olduğu ortaya konmuştur. Aslında bu fikir TR bir metrikte kenar bilgilerinin tek tek kıyaslama imkânının çok kolay olmayacağı dolayısıyla da önemli kenar bilgilerinin uzamsal yerlerinin kolay kolay değişmeyeceği fikrine dayanarak ortaya çıkmıştır. Bu bilgiler ışığında, Denklem (3.14)'te hareket etmeyen kenar sayısı bulunmakta, Denklem (3.15)'te ise bu bilgi görüntüdeki toplam kenar sayısı ile normalize edilmektedir [75].

$$NSEC = \sum_{i=2}^{frame_count} (\beta_i \cap \beta_{i-1}) \quad (3.14)$$

$$RNSE = \frac{NSEC}{TC} \quad (3.15)$$

3.2.3. YKA' nın Sonuçları

Tezin bu bölümünde değerlendirilecek olan ilk parametre farklı tarzdaki videoların tüm kodlama parametrelerinde parametresine (768, 1024 ve 1536 kbps) YKdeğerleri kendi aralarında değerlendirilecektir. Yukarıda da bahsedildiği üzere kenar bilgileri Canny kenar bulma algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Kenarları bulunan videoların ilk ve son görüntülerine ait görüntüler Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Tüm kodlama parametreleri içerisinde *Chess* videosu YK oranı en yüksek video olduğu Şekil 3.10 incelendiğinde de rahatlıkla görülecektir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.10 (a) (b) *Chess*, (c) (d) *Interview* ve (e) (f) *Windmill* videolarının kenar bilgileri çıkarılmış ilk ve son görüntüleri



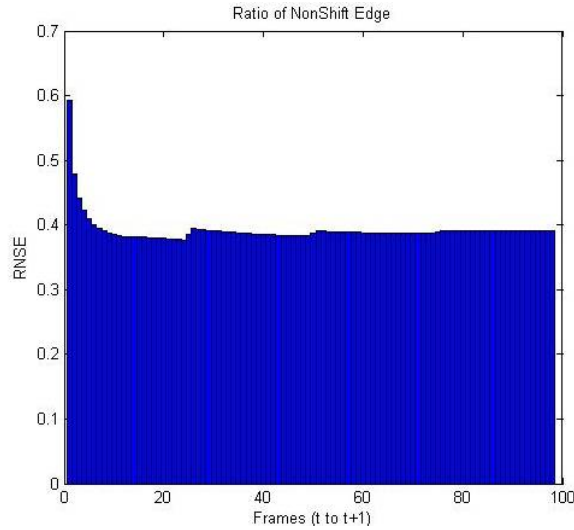
(e)



(f)

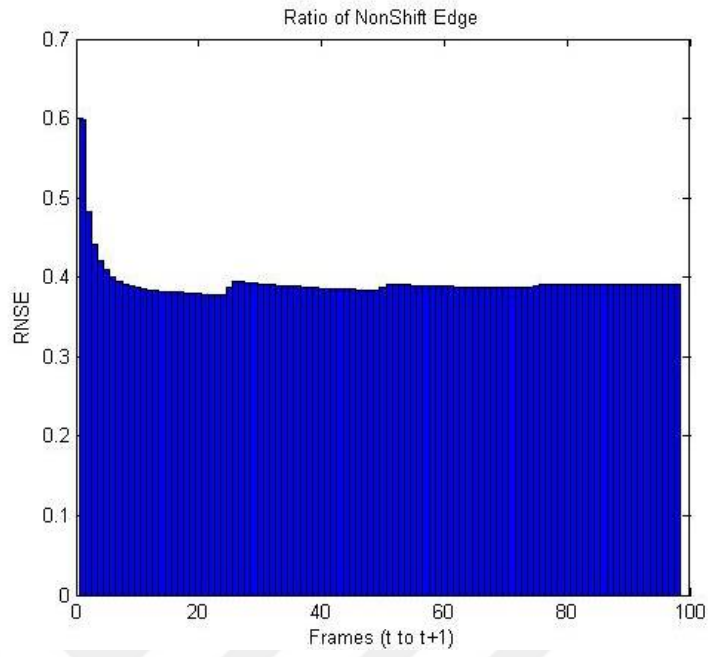
Şekil 3.10 (Devam)

Bölüm 3.2.2’de bahsedilen algoritma neticesinde ve Denklem (3.15) kullanılarak hazırlanan kod ile görüntü numaraları ve o görüntülere ait kenar içeren grafikler Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Bu grafikler ile hangi videonun kayan kenar sayısı daha fazla ya da hangi video daha az kayan kenar sayısına sahip açıkça gözükmemektedir. Bu veriler ışığında videoların YK hakkında net bilgilere sahip olmaktayız.

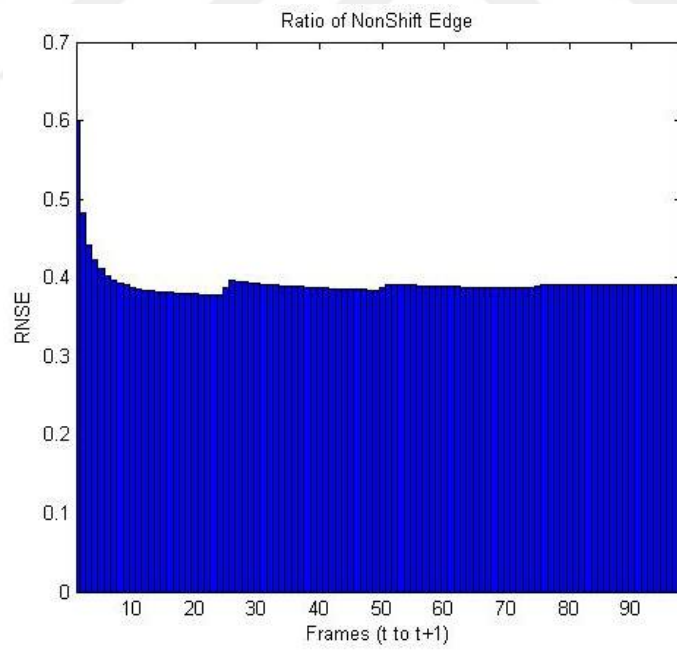


(a)

Şekil 3.11 (a)*Chess* 768, (b)*Chess* 1024, (c)*Chess* 1536, (d)*Interview* 768, (e)*Interview* 1024, (f)*Interview* 1536, (g)*Windmill* 768, (h)*Windmill* 1024, (i)*Windmill* 1536 video görüntülerinin RNSE eğrisi

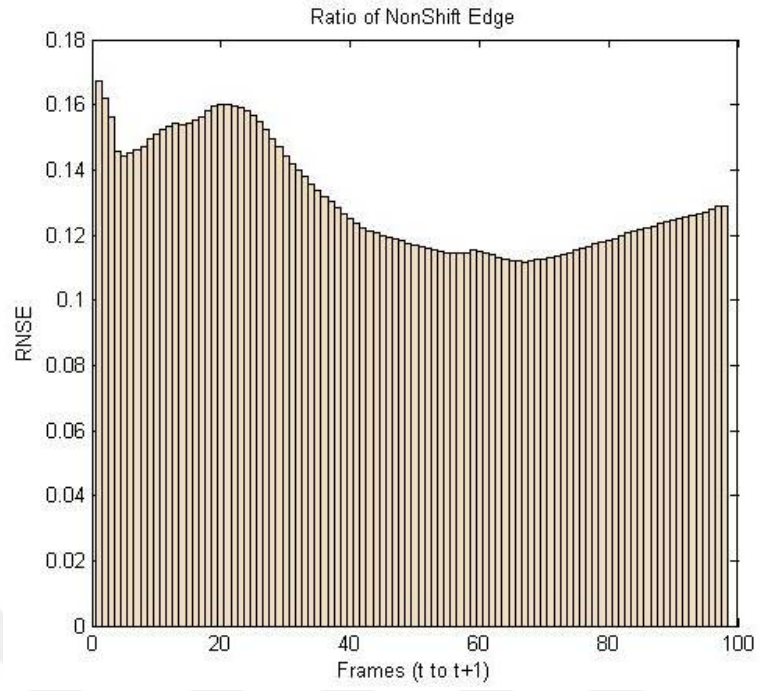


(b)

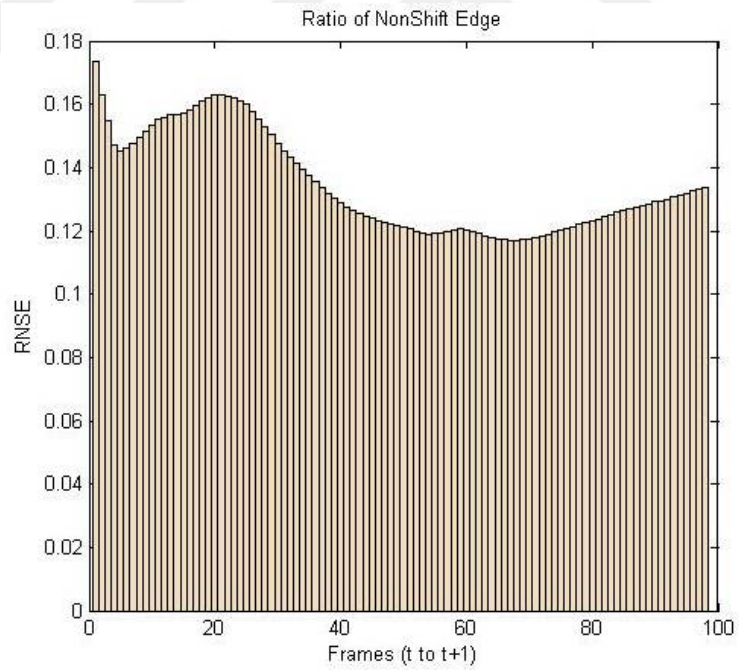


(c)

Şekil 3.11 (Devam)

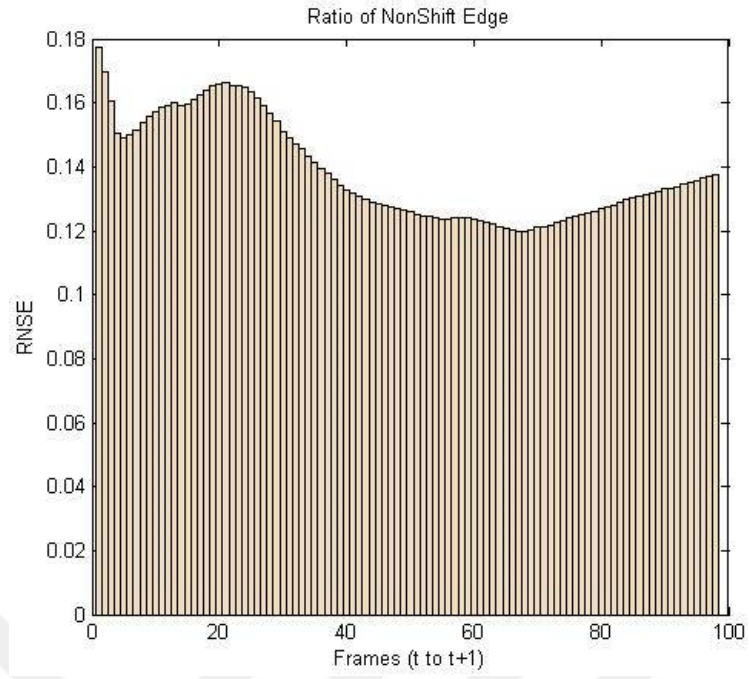


(d)

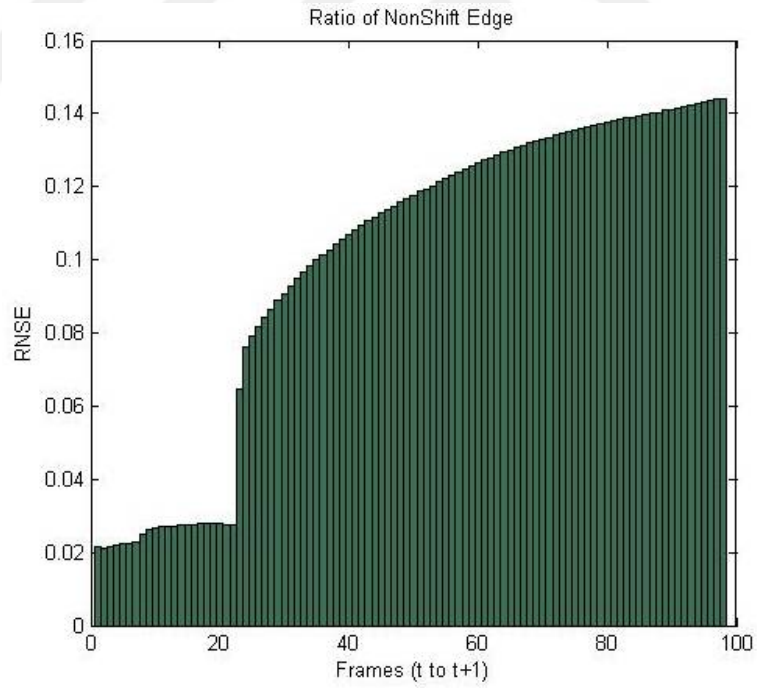


(e)

Şekil 3.11 (Devam)

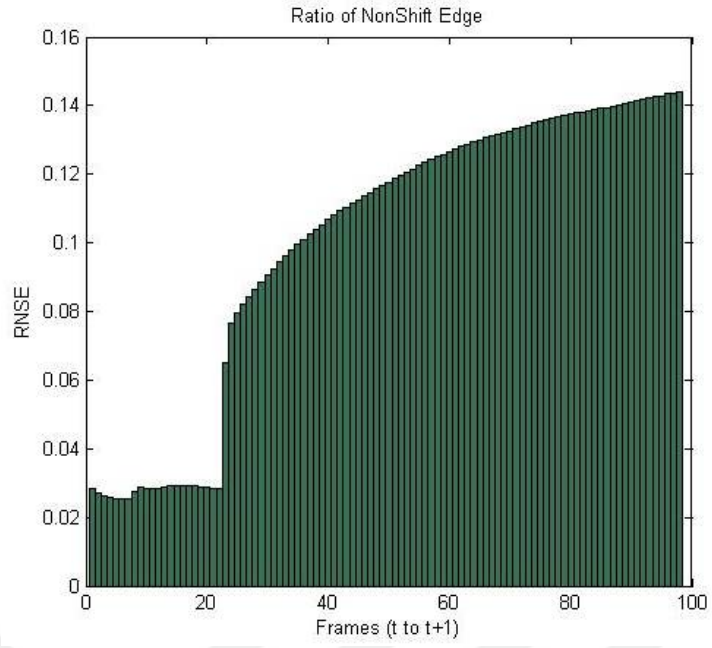


(f)

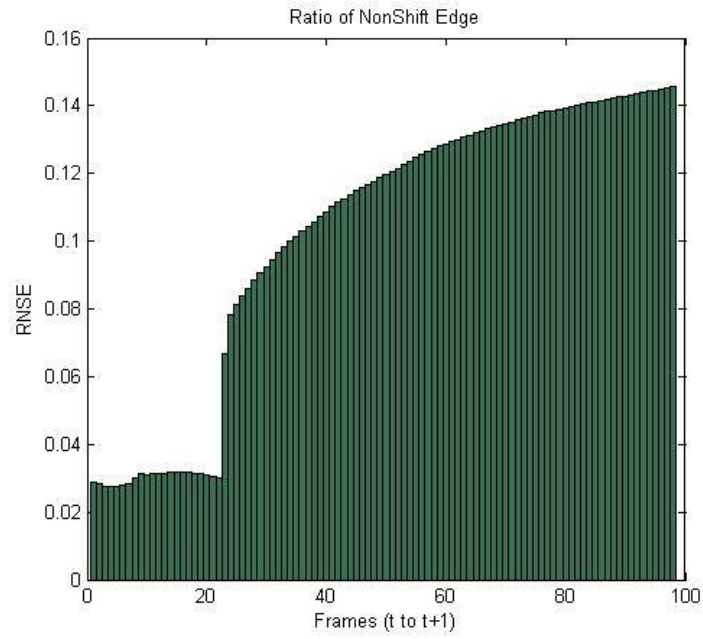


(g)

Şekil 3.11 (Devam)



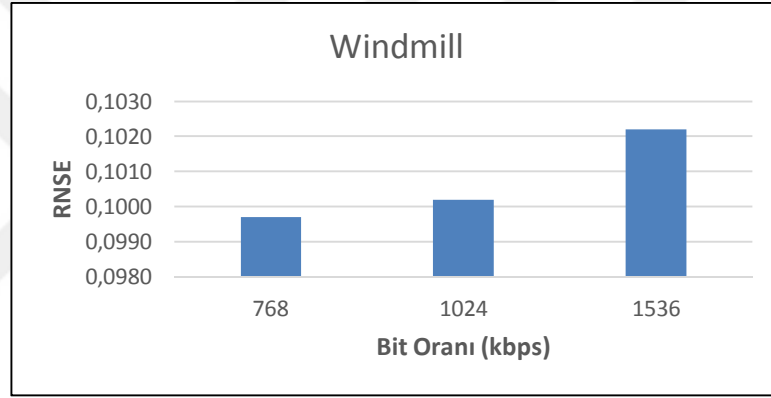
(h)



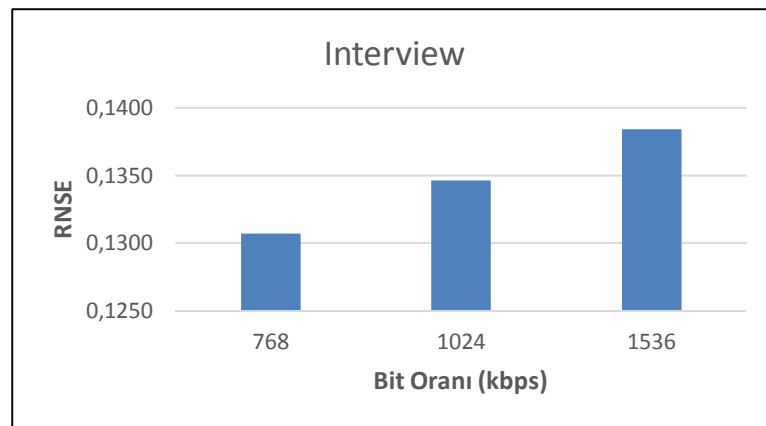
(i)

Şekil 3.11 (Devam)

Şimdi ise her bir videonun (*Windmill*, *Interview* ve *Chess*) kendi arasında tüm kodlama parametrelerine (768, 1024 ve 1536 kbps) göre YK'ı değerlendirilecektir. Bu kodlama parametrelerine göre nasıl değişim içerisinde olduğu incelenecek ve YK'ları birbirleriyle kıyaslanacaktır. Şekil 3.12 incelendiğinde *Windmill* videosu için YK değeri 768 kbps ve 1024 kbps değerleri arasında ufak bir yükseliş yaşanırken 1024 kbps ve 1536 kbps değerleri arasında bir önceki değerden yaklaşık beş katı bir yükseliş gözlemlenmiştir. *Chess* videosu RNSE değeri en yüksek video olmasına karşın bit oranı değişimi RNSE değerlerindeki değişimi en az etkileyen video olmuştur. Ayrıca bu artış hızı bit oranı değişimiyle orantılı olmuştur. *Interview* videosunda ise bit oranı değiştikçe aynı hızda artış yaşanırken diğer videolara kıyasla bu artış çok yüksek miktardadır.

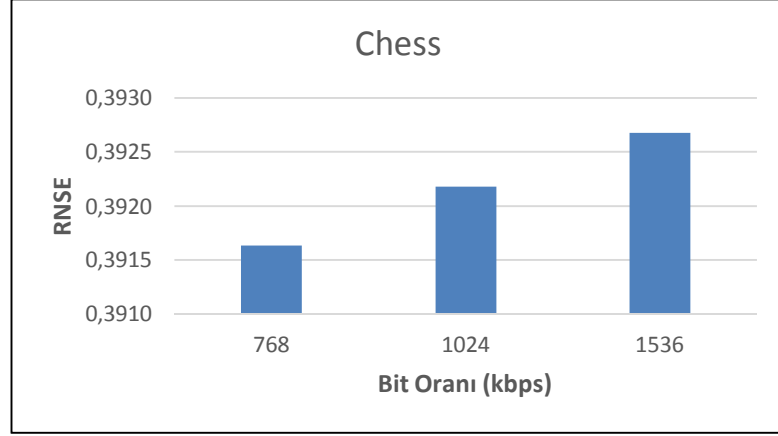


(a)



(b)

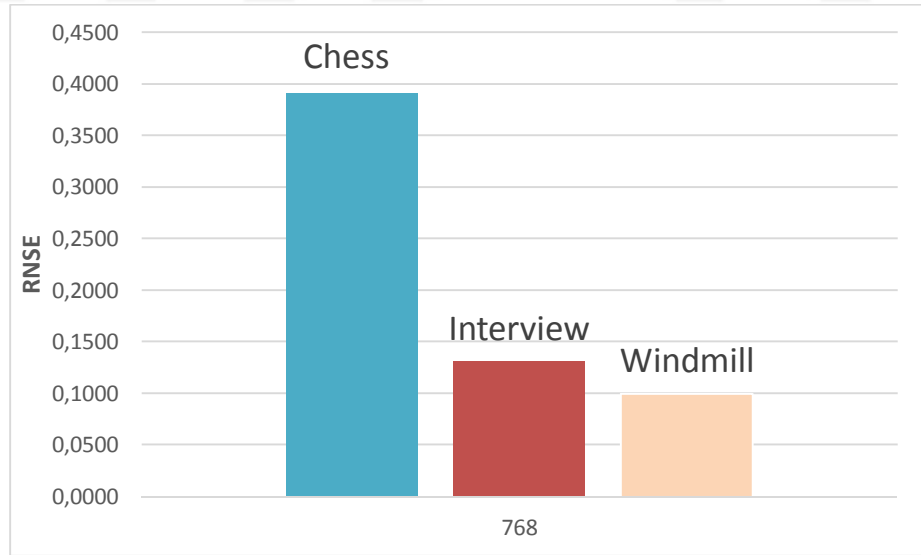
Şekil 3.12 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) *Windmill*, (b) *Interview*, (c) *Chess* video görüntülerinin RNSE değerleri.



(c)

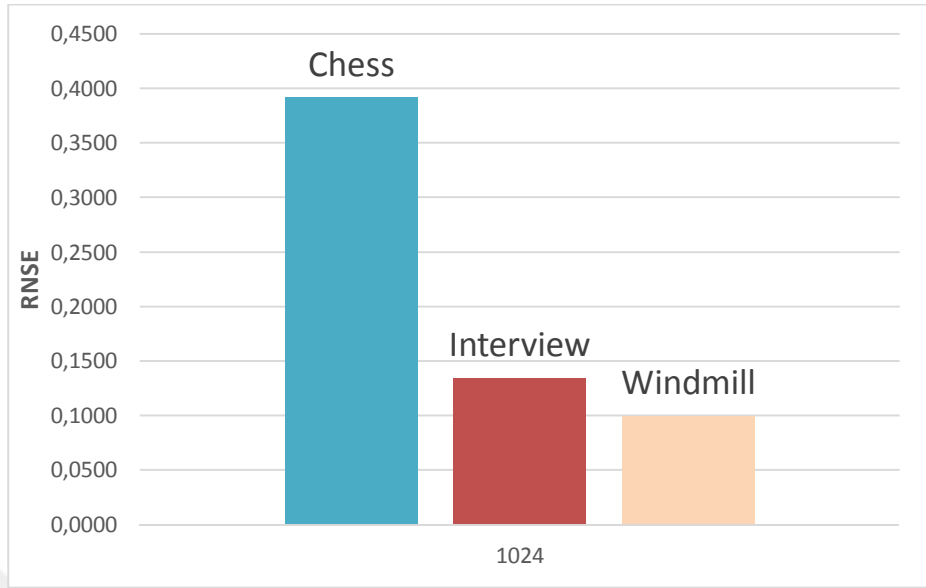
Şekil 3.12 (Devam)

Ayrıca şekil 3.13'te aynı bit oranlarında farklı videolar kıyaslanmıştır. Tüm kodlama parametrelerinde (768, 1024 ve 1536 kbps) *Chess* videosu en yüksek YK değerine sahipken diğer videolar birbirine yakın YK değerine sahiptir. En düşük YK değeri ise *Windmill* videosuna aittir.

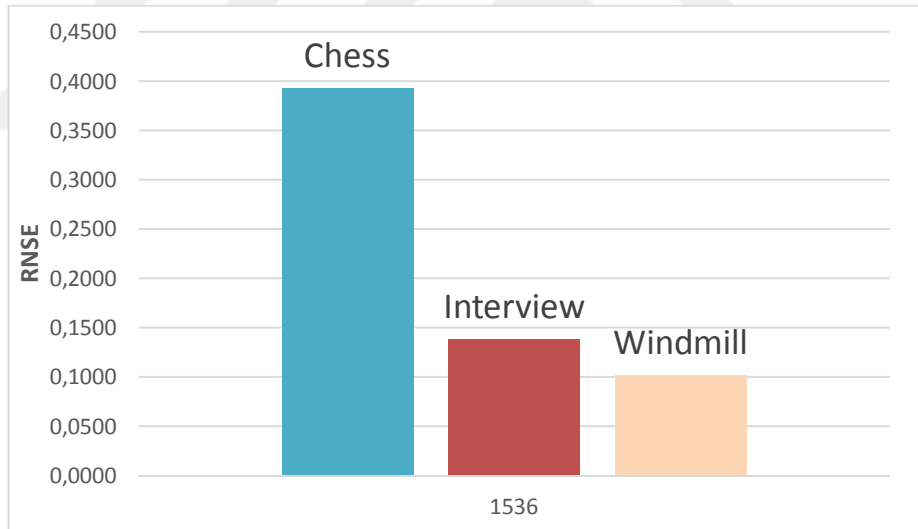


(a)

Şekil 3.13 (a) 768, (b) 1024, (c) 1536 kbps bit oranıyla kodlanan *Windmill*, *Interview* ve *Chess* videolarının RNSE değerleri



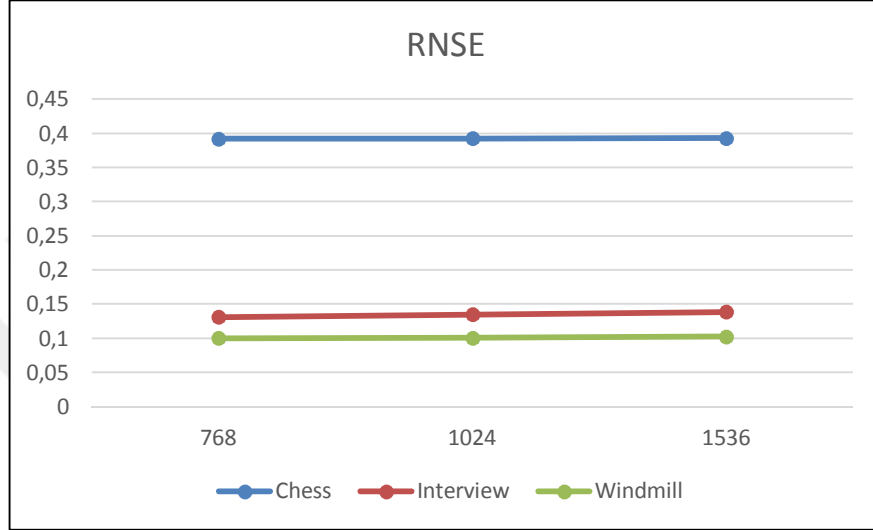
(b)



(c)

Şekil 3.13 (Devam)

Şimdi farklı tarzda videoların YK değerleri kendi aralarında karşılaştırılacaktır. Şekil 3.14 incelendiğinde YK değeri tüm kodlama parametrelerinde (768, 1024 ve 1536 kbps) en fazla olan video *Chess* videosuna (0,39) aittir. *Windmill* ve *Interview* videoları ise yaklaşık aynı (0,10 – 0,13) YK değerine sahiptir. Üç video arasında en düşük YK değerine sahip video ise *Windmill* videosudur.



Şekil 3.14 Farklı bit oranlarında kodlanan *Windmill*, *Interview* ve *Chess* videolarının RNSE değerlerinin karşılaştırılması.

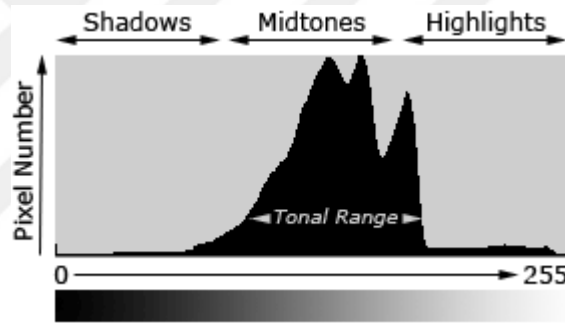
3.3. Kontrast Algoritması (KA)

Kontrast 3B videolarda derinlik algısını etkileyen ve aynı zamanda izleyici tarafında VKD'sinini etkileyen en önemli faktörlerdendir [77].

Kontrast resimdeki karanlık ve aydınlık alanların ayrılması olarak tanımlanabilir. Fakat kontrastı anlamlandırabilmemiz için öncelikle bu alanda en önemli konseptlerden biri olan görüntülerin histogramlarını anlamamız gerekmektedir. Görüntünün histogramı bize resmin sert, direkt ya da düz bir ışığa mı maruz kaldığı ve hangi ayarlanmalar uygulandığında en iyi performans göstereceği hakkında bilgi verir [78].

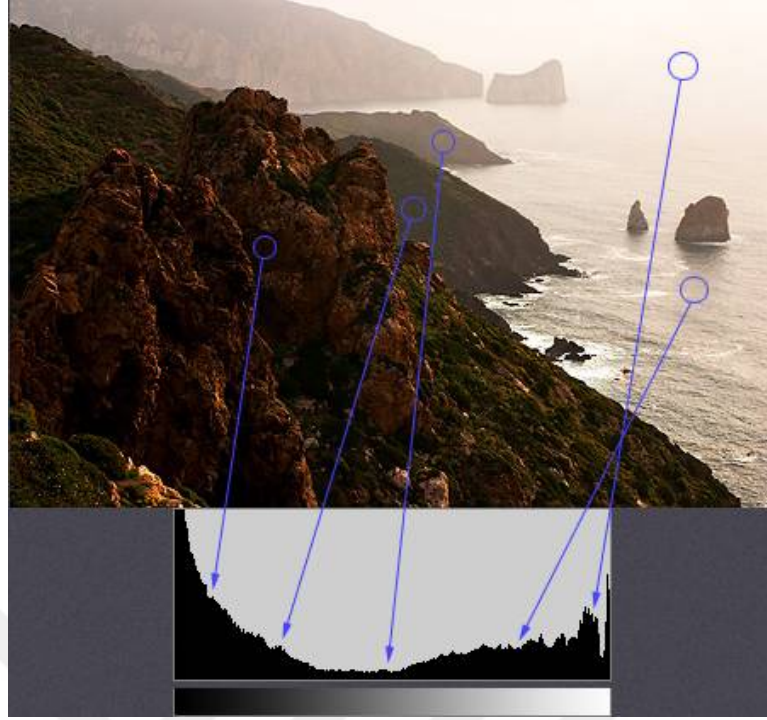
Bir resimdeki her bir piksel, birincil resim renkleri olan kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) renklerin hangi kombinasyonlarından üretildiğini gösterir. Dijital resimler için bu renklerin her birinin 8 bitten oluşan bit derinliği yani 0 ile 255 arasında değişen parlaklık değerleri bulunmaktadır. Bir RGB histogramı RGB parlaklık değerlerini tarar ve 0 ile 255 arasında her seviyede kaç adet parlaklık değeri olduğunu sayar.

Şekil 3.15'te görüldüğü üzere resim histogramı 0-255 arasında parlaklık değerinde kaç hangi parlaklık seviyesinde kaç adet piksel olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda Şekil 3.16'da da görüldüğü gibi 0' yakın bölgeler gölgeleri yani resimlerin karanlık kısımlarını, 255 parlaklık değerine yakın bölgeler parlak noktaları yani resimin aydınlık bölgelerini, orta parlaklık değerindeki piksel değerleri de orta tona sahip yani resmin ne karanlık ne de aydınlık bölgelerini temsil etmektedir [76].



Şekil 3.15 Histogram Bölgeleri [76].

Çok parlaklık değerinin bulunduğu bölgelere ton bölgeleri denilmektedir. Ton bölgeleri resimden resime sert bir şekilde değişebilmektedir. Bu yüzden ki gerçek parlaklık değerinin sayı haritalarıyla nasıl değiştiğini anlamak için sezgi geliştirmek genellikle kritik bir öneme sahiptir.



Şekil 3.16. Histogram-Resim karşılaştırma [76].

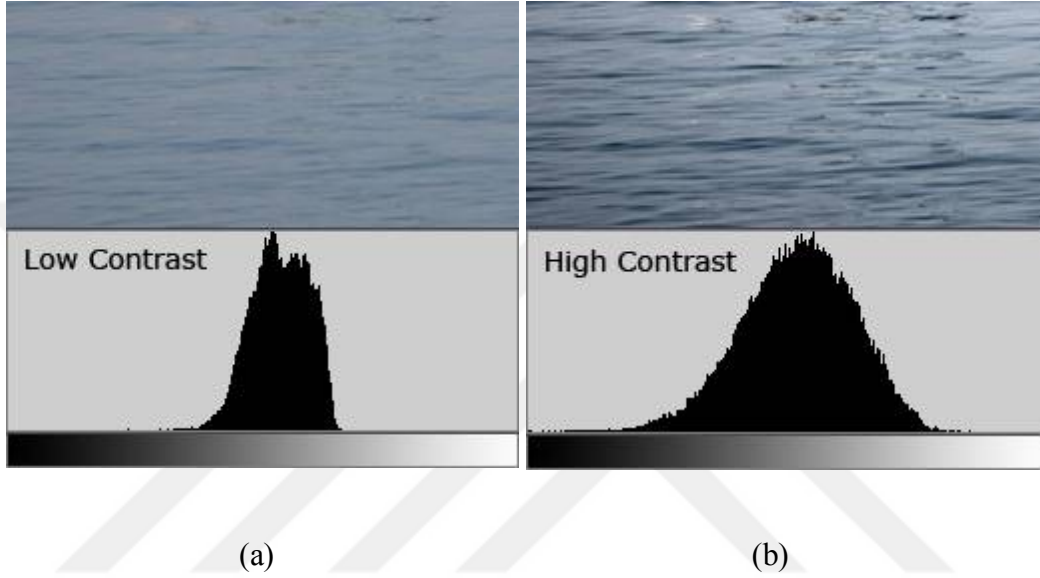
Örneğin şekil 3.16’da bulunan resim çok geniş bir ton aralığına sahiptir. İşaretleyici ile histogram parlaklık seviyeleriyle görüntü haritasındaki bölgeler işaretlenmiştir. Kıyı bölgesi az sayıda orta tona sahiptir ama sırasıyla resmin sol alt ve sağ üst kısımları gölge ve parlak nokta içerir. Bu da histogram grafiğine sol ve sağ taraflarında yüksek piksel sayısı olarak yansımaktadır.

Görüntülerdeki histogram kavramını netleştirdikten sonra görüntülerdeki kontrast miktarını tanımlamak için kullanılan araçlardan biri olduğunu da ifade etmemiz gerekir. Kontrast bir sahne içindeki karanlık ve aydınlık farkı arasındaki parlaklık farkının ölçümü olarak da ifade edilebilmektedir.

Geniş ve yaygın histogramlara sahip görüntüler yüksek kontrastlı ve canlı görüntüler olarak ifade edilirken, dar histograma sahip görüntüler düşük kontrastlı ve düz, soluk ve cansız olarak ifade edilir. Bunun sebebi resmin içeriği ve parlaklık durumlarının kombinasyonlarından kaynaklanır. Yani sisli bir günde çekilen bir fotoğraf düşük

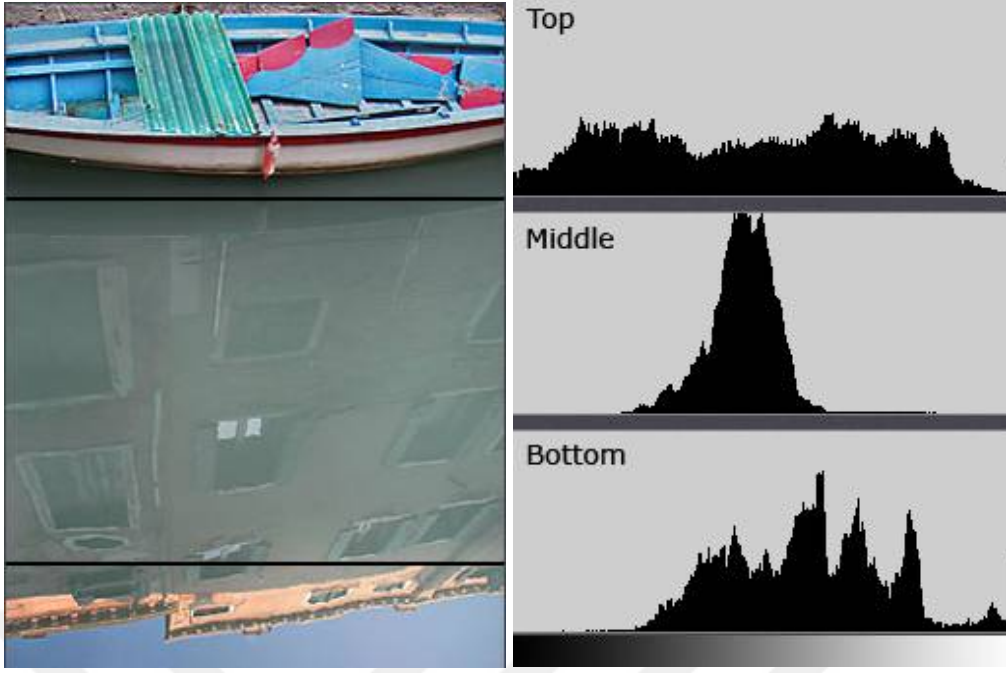
kontrasta sahipken, yüksek gün ışığında çekilen bir fotoğraf yüksek kontrasta sahiptir [76, 79].

Şekil 3.17’de görüldüğü üzere kontrastın resim üzerinde çok yüksek görsel etkisi vardır. Yüksek kontrast sahip su daha derin gölgelere ve daha parlak noktalara sahiptir ve izleyici de derinlik hissiyatı yaratan etkiye sahiptir.



Şekil 3.17. (a) Düşük (b) Yüksek Kontrast [76]

Kontrast aynı zamanda bir görüntünün farklı bölgeleri için ışık durumu ve resmin içeriği gibi parametrelerinden ötürü değişkenlik gösterebilmektedir. Şekil 3.18’de görüldüğü üzere resim üç farklı bölgeye ayrılmış ve üç bölgede üç farklı histogram oluşmuştur.

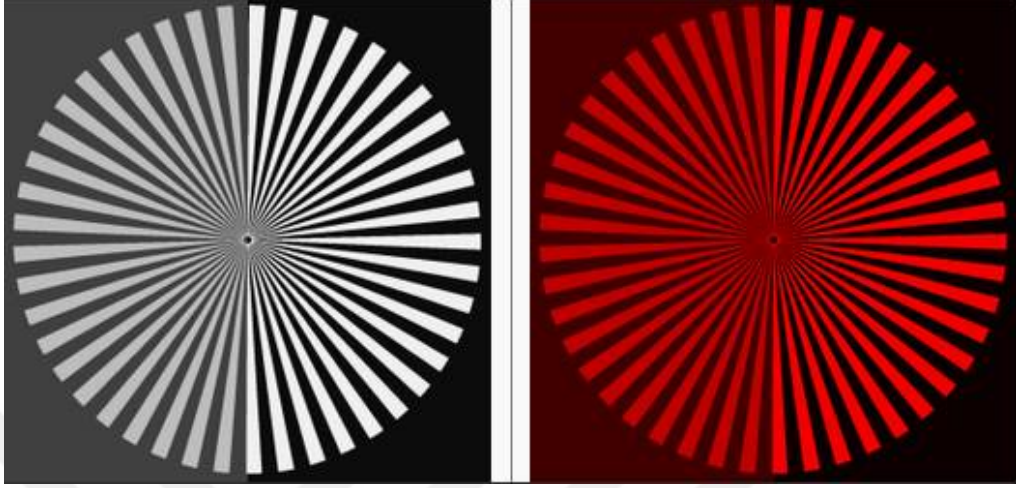


Şekil 3.18 (a) Üst (b) Orta (c)Alt bölge kontrast karşılaştırması [76].

Şekil 3.18’de resmin üst bölümü bu üç bölge içerisinde en yüksek kontrasta sahip bölgedir bunun sebebi resim su yüzeyini yansıtmayan ışıktan oluşmuş ve ışık durumu o bölge için iyi koşullarda oluşmuştur. Bu da botun ve çıkıntılarının altında derin gölge oluştururken direk ışığa maruz kalan bölgelerde güçlü parlak noktalar oluşturur. Alt ve orta bölgeler genellikle yayılmış yansıyan ışıktan üretilmiştir dolayısıyla üst bölümden daha düşük kontrasta sahiptir. Bir başka deyişle sisli bölgede çekilmiş fotoğraflar gibidir. Alt bölge düz ve monoton gökyüzü içermesine rağmen orta bölgeye göre daha yüksek kontrasta sahiptir çünkü orta bölgedeki gölgelerin kombinasyonundan daha yoğun gün ışığına sahiptir. Alt bölgedeki içerik daha belirgin parlak nokta oluşturmasına rağmen hala üst bölgedeki gibi derin gölgeler bulunmamaktadır [76].

Sonuç olarak bir resmin kontrastı artırdığımızda karanlık ve aydınlık fark artırılır yani gölgeler daha kararırken aydınlık bölgeler daha da aydınlanır. Kontrastı azaltmak ise gölgeleri daha aydınlatıp, aydınlık noktalar daha karartılır yani karanlık ve aydınlık noktalar birbirlerine yaklaşır. Kontrastı artırarak resimler daha enerjik ve canlı hale getirilirken kontrastı düşürerek resimler daha mat ve donuk gözükmektedir.

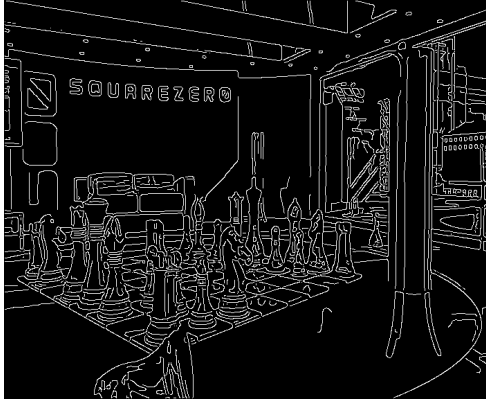
Şekil 3.19’da resimlerin sağ görüntülerinin kontrastı artırılırken sol taraftaki görüntülerin kontrastı azaltılmıştır. Bu örnekte de görüldüğü üzere kontrastın görüntü kalitesini etkileyen bir faktör olduğu açıkça gözükmemektedir.



Şekil 3.19 Kontrast Artırma-Azaltma [76].

3.3.1. Kontrastın Histogramlar üzerinden İncelenmesi

Kontrast görüntüden görüntüye değişkenlik gösterdiği için görsel olarak daha anlaşılır olabilmesi adına tezimizde kullanılmam her 2B video için Şekil 3.20’de ilk ve son görüntüleri olmak üzere ikişer adet ekran çıktısı alınmıştır. İkişer adet ekran çıktısı ile gösterilmesinin sebebi *Windmill* videosunun yaklaşık 25. görüntüsünden itibaren görüntülerinin neredeyse tamamen değişmesidir. Ekran çıktıları görsel olarak kıyaslanacak olursa *Interview* videosu renk tonunun çeşitliliği sebebiyle daha belirgin noktalara ve *Windmill* videosu ise gün ışığında alınan çekimin etkisiyle gölgelere sahip olmasından ötürü yüksek kontrasta sahiptir. *Chess* videosu ise renk çeşitliliğinin az olması sebebiyle düşük kontrasta sahiptir. Görsel olarak incelemenin yanı sıra kontrastı kıyaslayabileceğimiz en iyi donelerden biri olan ve bir önceki bölümde de detaylı olarak bahsettiğimiz Şekil 3.18’de bulunan histogram üzerinden de rahatlıkla görülebilmektedir ki *Interview* ve *Windmill* videosunun kontrastı *Chess* videosunun kontrastına göre daha büyüktür. Bu bilgiler ışığında kontrast ölçümünün nasıl yapıldığı Bölüm 3.3.2’de anlatılacaktır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

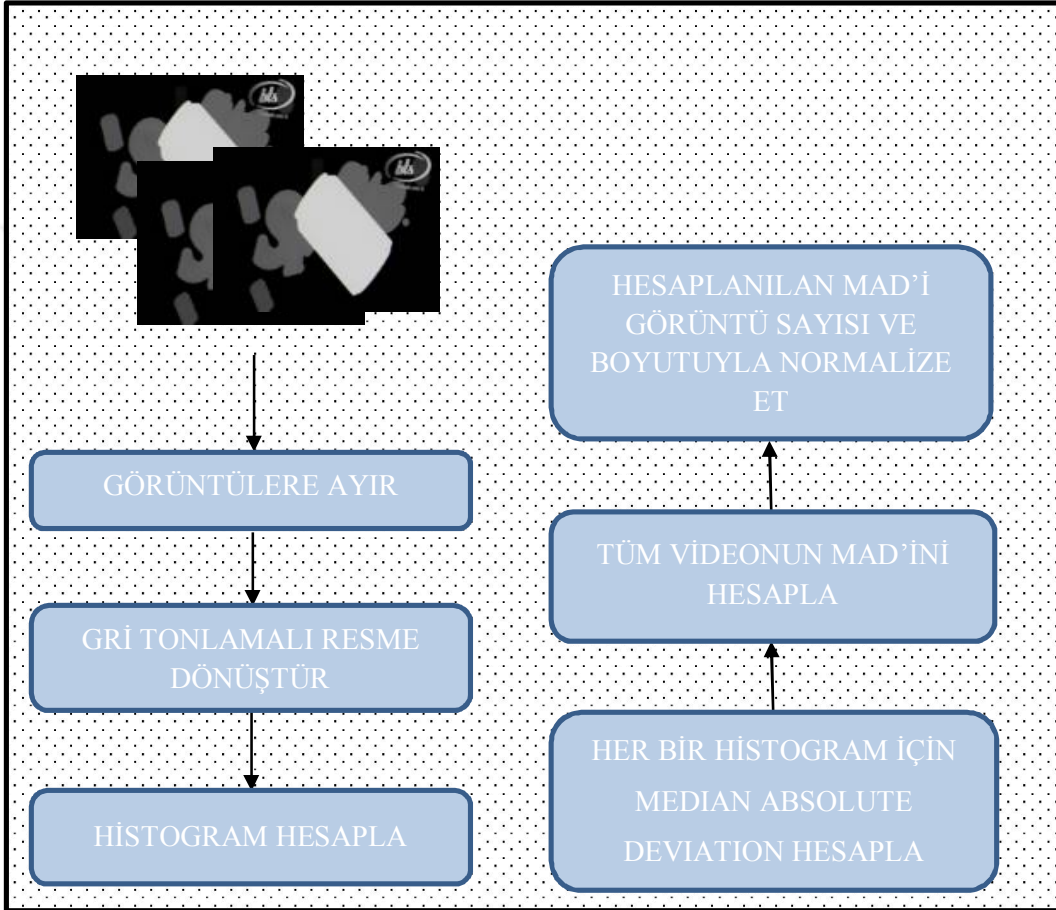


(f)

Şekil 3.20 (a) (b) *Chess*, (c) (d) *Interview* ve (e) (f) *Windmill* videolarının ilk ve son görüntüleri

3.3.2. Kontrast Ölçümü

Kontrast ölçümü işleminin nasıl yapıldığının daha iyi anlaşılabilmesi için bir blok diyagram tasarlanmıştır. Şekil 3.21’de bulunan blok diyagram yapılan işlem adım adım ve açık bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 3.21 Kontrast ölçümü algoritması blok diyagramı

Şekil 3.21’deki blok diyagramında da gözlemlendiği gibi 2B+DH temelli videolar görüntülerine ayrılmış, ardından görüntüler gri tonlamalı görüntülere dönüştürülmüştür. Gri tonlamalı görüntüler kullanılarak görüntülerin histogramları elde edilmiştir. Histogramların elde edilen görüntülerin Medyan Mutlak Sapması

(MMS) (Mean Absolute Deviation-MAD) hesaplanır. Bahsedilen işlem denklem (3.16)'da gösterilmiştir.

$$MMS(k) = MAD(Hist(rgb2gray(fr_k))) \quad (3.16)$$

Yukarıda bahsedilen denklemde bulunan (fr_k) k. görüntüyü temsil etmektedir.

MMS elde edilen görüntüler tüm video boyunca toplanarak videonun MMS'si hesaplanır. Videonun MMS'si video boyutu ve görüntü sayısı ile normalize edilerek kontrast ölçümü yapılır. Bahsi geçen işlemler denklem (3.17)'de gösterilmiştir.

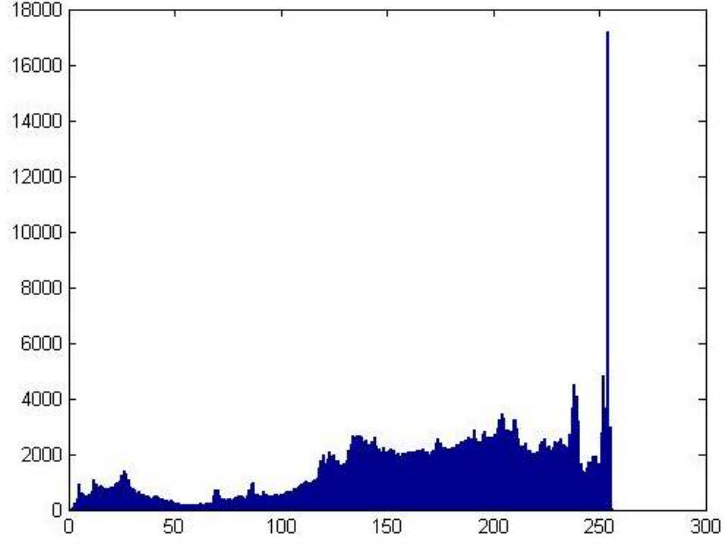
$$C = \frac{\sum_{k=1}^{frame_count} MMS(k)}{YxGxframe_count} \quad (3.17)$$

Formülümüzde bulunan Y ifadesi videonun yüksekliğini, G videonun genişliğini, $frame_count$ ise video boyunca bulunan görüntü sayısını ifade etmektedir. Elde edilen C ifadesi bir sonraki bölümde elde edilecek metrikte kullanılan bir değişkendir.

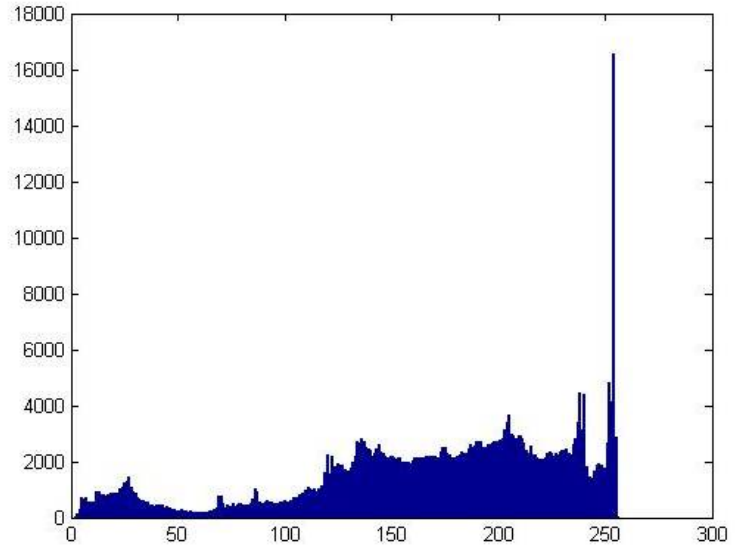
3.3.3. KA Sonuçları

Tezin bu kısmında kontrast ölçümü yapılmış videoların (*Windmill*, *Interview* ve *Chess*) sonuçları üç başlık altında incelenmiştir. Histogramın kontrastı anlamada önemli bir parametre olduğundan Bölüm 3.3.1' de bahsetmiştik. İlk olarak her bir videonun farklı kodlama parametrelerine göre histogramları kıyaslanmıştır. Histogram ile video kontrastı anlaşılmaya çalışılmış, sonuçların birbirleriyle örtüştüğü tespit edilmiştir.

Ayrıca bu bölümde hangi tip histograma sahip görüntülerin daha yüksek kontrasta sahip olduğundan bahsetmiştik. Bu bilgiler ışığında Şelik 3.22'de bulunan videolara ait histogramlar incelendiğinde *Interview* videosunun daha geniş histograma sahip olmasından ötürü kontrastının en fazla, *Chess* videosunun en dar histograma sahip olmasından ötürü ise kontrastının en düşük olması gerekmektedir. Metrikte kullanılacak olan kontrast değişkeninin bulunması için yapılan ölçüm sonuçlarının videoların histogramları ile elde ettiğimiz sonuçların birbirine paralel oldukları görülmüştür.

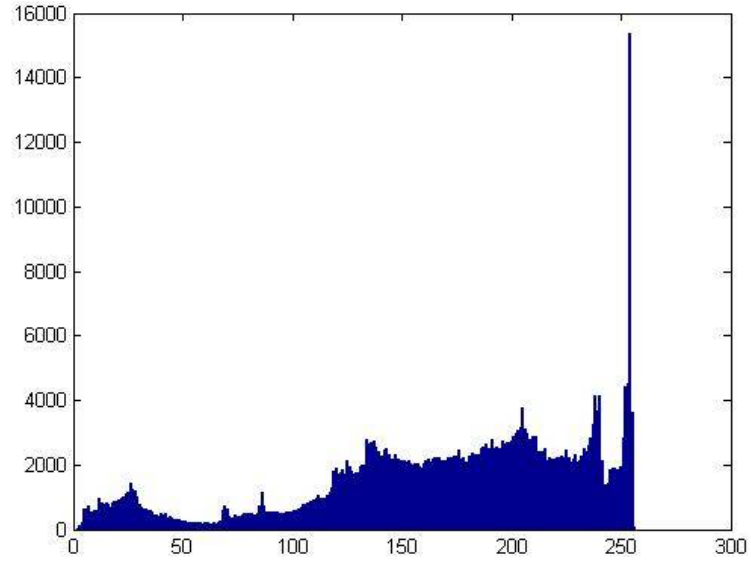


(a)

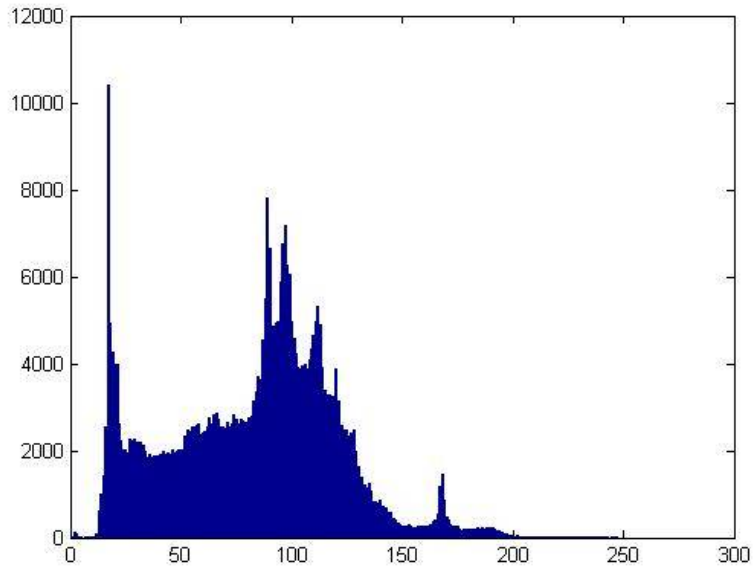


(b)

Şekil 3.22 (a)*Chess* 768, (b)*Chess* 1024, (c)*Chess* 1536, (d)*Interview* 768, (e)*Interview* 1024, (f)*Interview* 1536, (g)*Windmill* 768, (h)*Windmill* 1024, (i)*Windmill* 1536 video görüntülerinin kontrast eğrisi

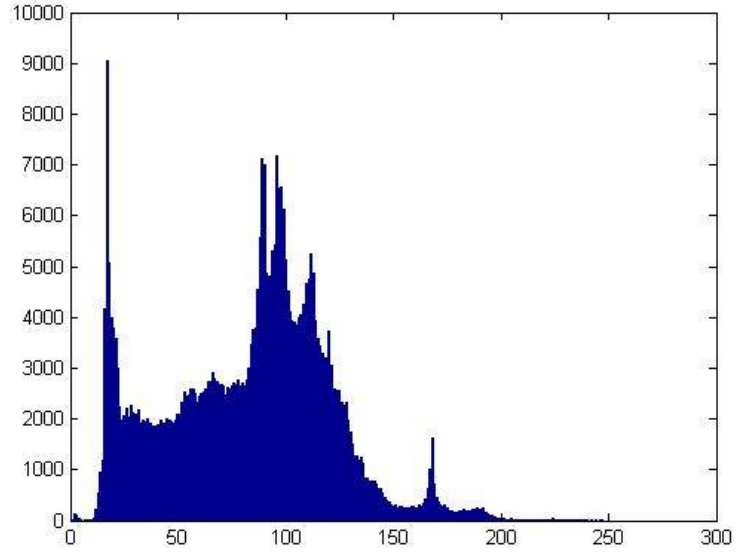


(c)

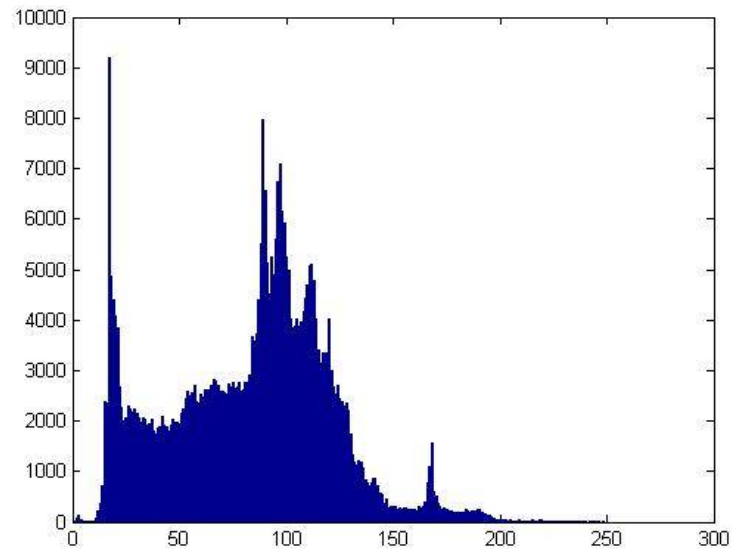


(d)

Şekil 3.22 (Devam)

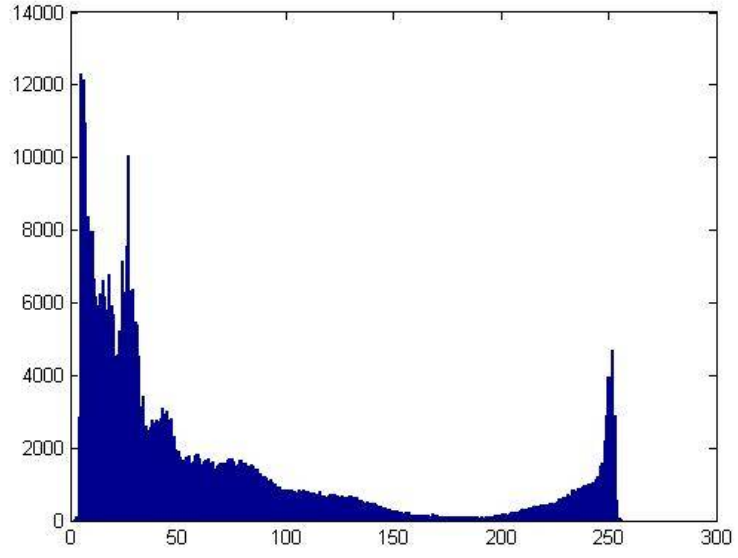


(e)

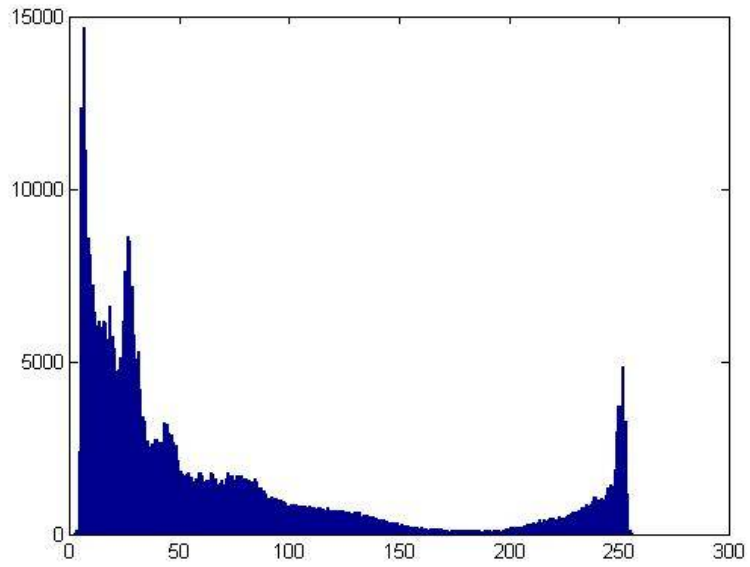


(f)

Şekil 3.22 (Devam)

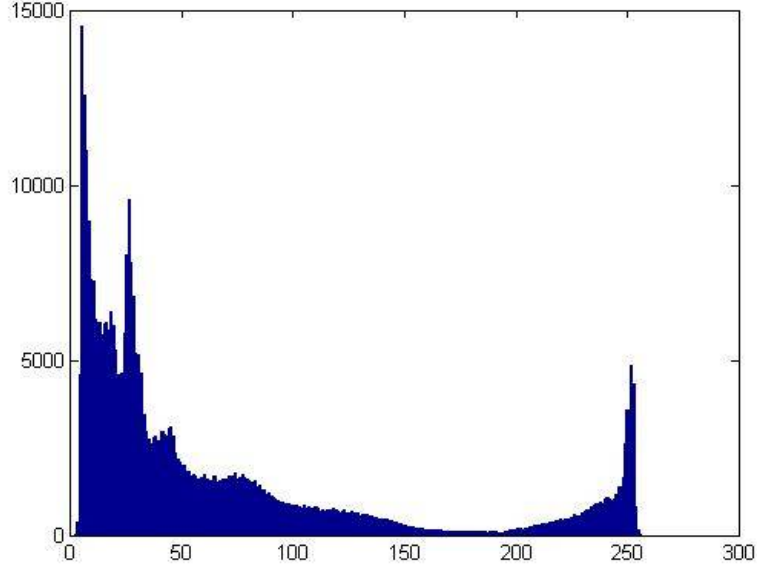


(g)



(h)

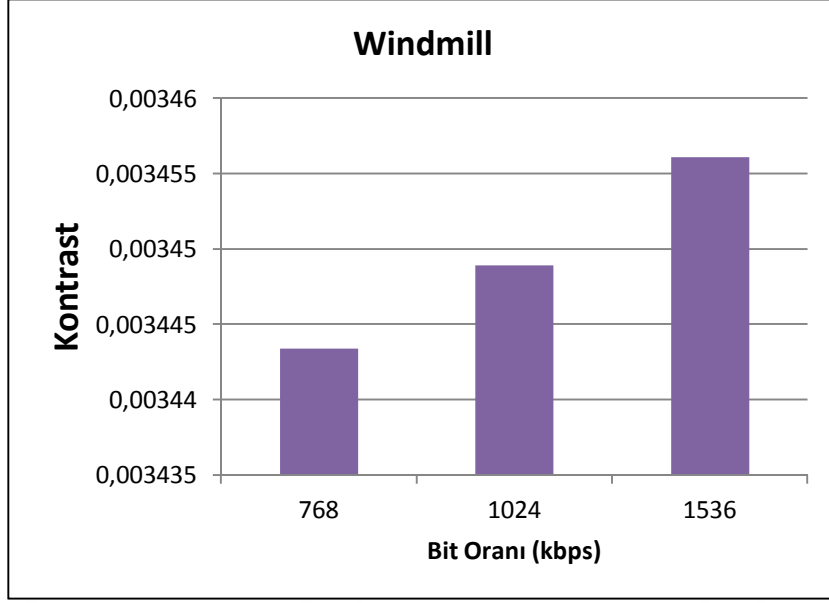
Şekil 3.22 (Devam)



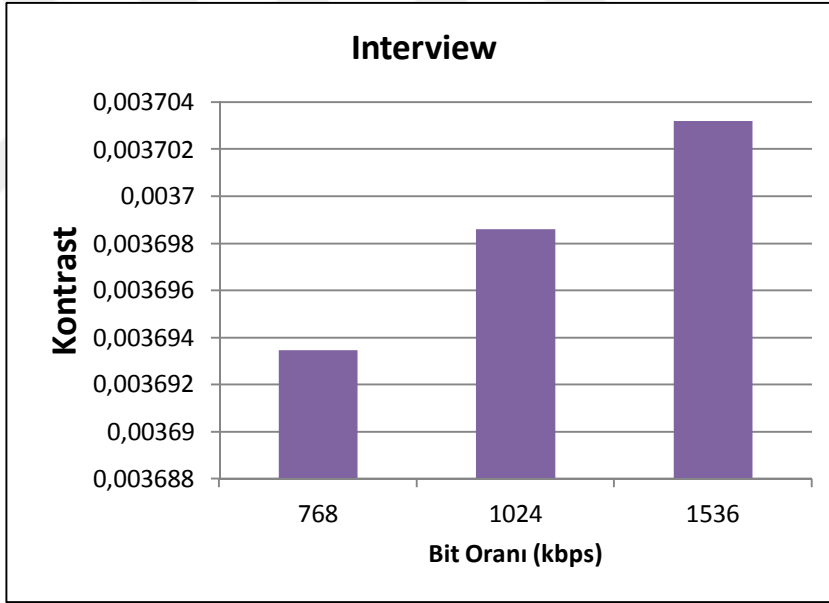
(i)

Şekil 3.22 (Devam)

İkinci olarak videolar farklı kodlama parametreleri (768, 1024 ve 1536 kbps) için kendi aralarında kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda farklı kodlama parametrelerinin (768, 1024 ve 1536 kbps) video kontrastı (MMS'si) üzerine etkileri incelenmiştir. Şekil 3.23'te görüldüğü gibi kodlama parametresi arttıkça kontrastın MMS'si de artmıştır. Bu bizim için tutarlı bir sonuçtur çünkü yüksek bit oranında kodlanan videolar daha kaliteli olduğundan/bit kaybı az olduğundan görüntüleri daha iyi göstermesinden ötürü kontrastının dolayısıyla da MMS'sinin yüksek çıkması bizim algoritmamızın doğruluğunun bir ölçütüdür. *Interview* videosunun 768, 1024 ve 1536 kbps bit oranlarında normalize edilmemiş MMS değerleri 1497-1501 civarında seyretmekte ve bit oranı arttıkça birbiriyle yakın oranda da artmaktadır. *Chess* videosunda ise 1024 ve 1536 kbps bit oranlarında normalize edilmemiş MMS değerleri 1026 civarında bulunmakta ve birbirlerine yakın değerlerde olmasının yanında en düşük MMS değeri 1024,5 ile 768 kbps bit oranına aittir. Son olarak *Windmill* videosu da *Interview* videosu sonuçlarına benzer şekilde bit oranı arttıkça MMS değerleri doğrusal olarak artmış en yüksek MMS değeri (1401) 1536 kbps bit oranında yer almaktadır.

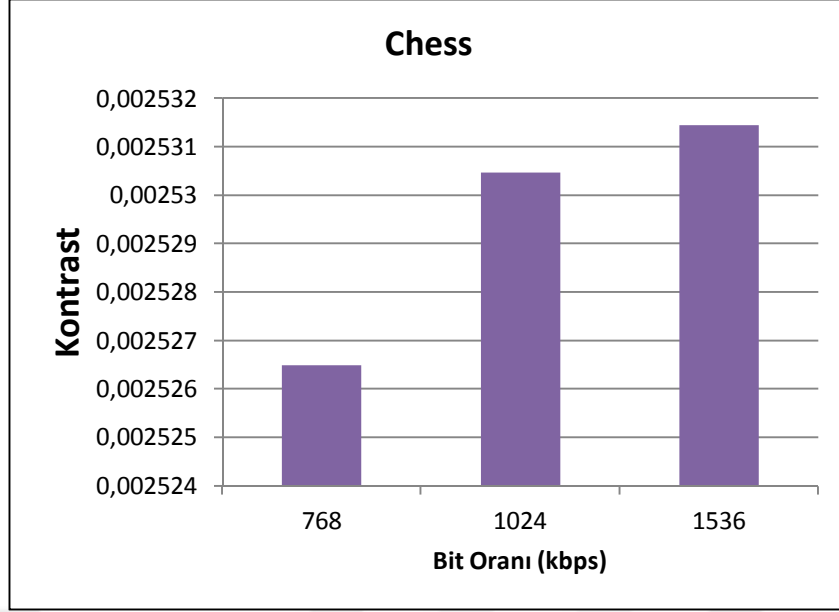


(a)



(b)

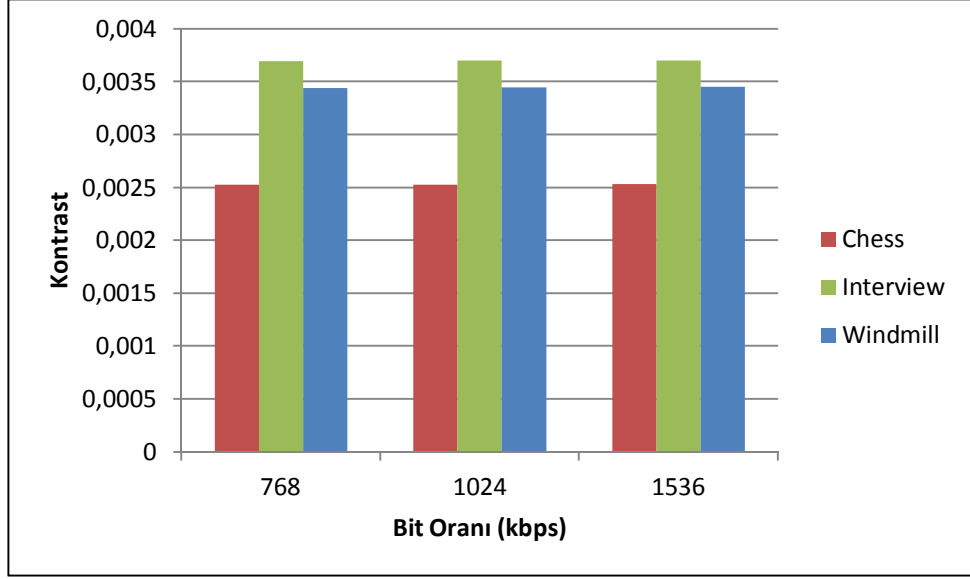
Şekil 3.23 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) *Windmill*, (b) *Interview*, (c) *Chess*, videolarının kontrast değerleri.



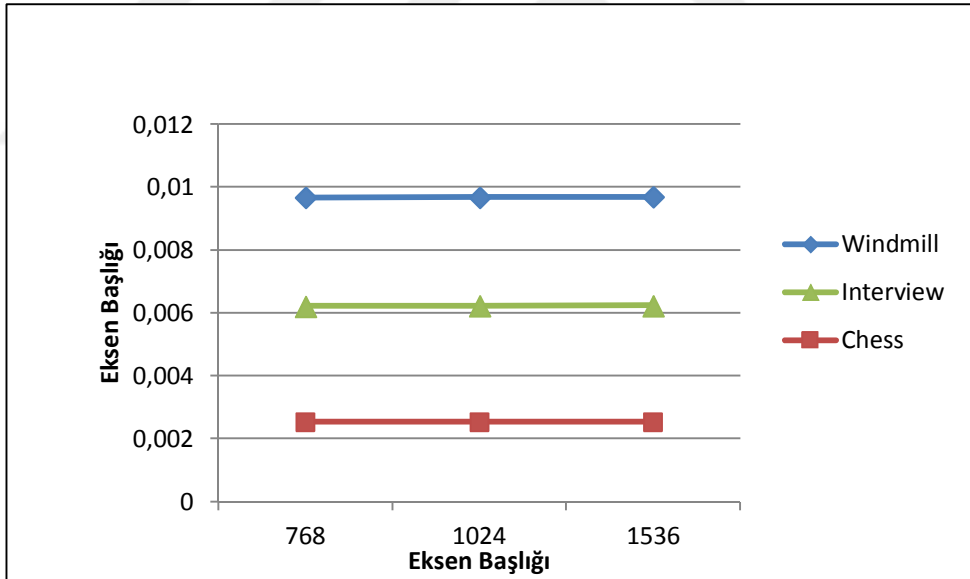
(c)

Şekil 3.23 (Devam)

Son olarak her bir video birbirleri arasında kıyaslanmıştır. Kıyaslama yapılırken aynı kodlama parametresine sahip farklı videolar kıyaslanmış, kodlama parametresi değiştirilerek kıyaslanma tekrarlanmıştır. Şekil 3.24 incelendiğinde MMS değeri tüm kodlama parametrelerinde (768, 1024 ve 1536 kbps) en fazla olan *Interview* videosudur (MMS: 1497-1501 arası). Grafik ve Şekil 3.23'ten de anlaşıldığı üzere *Interview* videosu kontrast bakımından en yüksek değerlere sahiptir. *Windmill* videosu ile birbirlerine yakın değerler içermektedir. *Windmill* videosundan %6 daha yüksek değere sahiptir. *Chess* videosu ise açık ara kontrast bakımından en zayıf videodur. Diğer videolara kıyasla %26-31 daha düşük değerlere sahiptir.



(a)



(b)

Şekil 3.24 Farklı bit oranlarında kodlanan (a) sütun, (b) çizgi *Windmill*, *Interview* ve *Chess* videolarının Kontrast değerlerinin karşılaştırılması

3.4. 3B Video Kalite Değerlendirme Metriği (3B VKDM)

Yukarıda bahsedilen üç algoritmadan (HHAA, YK, Kontrast) elde edilen sonuçlar neticesinde oluşturduğumuz metrik bu bölümde anlatılacaktır. Aynı zamanda Bölüm 2.1.1’ de bahsettiğimiz öznel görüntü kalite değerlendirme metrikleri sonucu elde edilen MOS sonuçlarıyla karşılaştırılıp MOS ile korelasyonu sonucu performans değerlendirmesine tabi tutulacaktır. Bahsedildiği üzere geliştirdiğimiz metriği değerlendirmek için temel alacağımız sonuçlar öznel test sonuçlarıdır. Bunun yanında metriğimizin literatürde yer alan aynı zamanda Bölüm 2.1.2’de de bahsettiğimiz 2B video kalite ölçüm metrikleri (PSNR, SSIM, VQM) ile de performansları karşılaştırılarak metriğimiz başarı analizine tabi tutulacaktır.

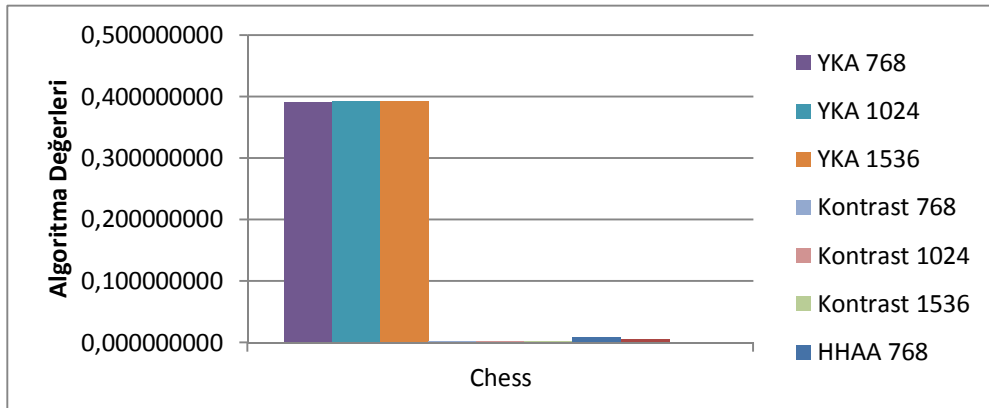
Yukarıda bahsedilen MOS değerlendirme sistemi ile metriğimizin performansının nasıl ölçüldüğü aşağıda anlatılmaktadır. Öncelikle algoritmalarımızda kullandığımız üç farklı video yani *Chess*, *Interview* ve *Windmill* videoları öznel deneylerde de kullanılmıştır. Bu deneyler University of Surrey test laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm videolar Standart Çözünürlük (Standart Definition-SD-574x706 piksel) boyutunda olup üç farklı bit oranında, (756, 1024, 1536 kbps) 25 görüntü hızında ve Joint Scalable Video Model (JSVM) kodek [56] kullanılarak kodlanmıştır. Deneyler sırasında deneklerden videoların kalitelerinin değerlendirilmesi istenmiş olup en kötü görüntü kalitesine sahip video için 1 puan en yüksek görüntü kalitesine sahip video için 5 puan verilmesi istenmiştir. Bir başka deyişle 5 puan görüntü kalitesinde en az bozulma yaşanma durumu için, 1 puan ise video kalitesinde en fazla bozulma yaşanma durumu için verilmesi gereken bir puan aralığını ifade etmektedir. Deneklere laboratuvarlarda ortalama 20 dakika süreyle videolar izletilmiştir. Bu testlere 12’si erkek 6’sı kadın olmak üzere 18 denek katılmış, aykırı sonuçlar veren bir kadın ve bir de erkek denek elenerek MOS puanlama sonuçları 16 denek ile elde edilmiştir.

Öncelikli olarak her bir algoritma sonucu elde edilen sonuçlar MOS değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere her bir algoritmanın korelasyon katsayıları birbirinden farklıdır. Bu çizelgeyi oluşturma sebebimiz geliştirdiğimiz metriğimizde her bir algoritmanın farklı ağırlıkları olacağını göstermek içindir.

Çizelge 3.1 Derinlik algısı için geliştirilen HHAA, YKA ve KA algoritmalarının performans değerlendirilmesi.

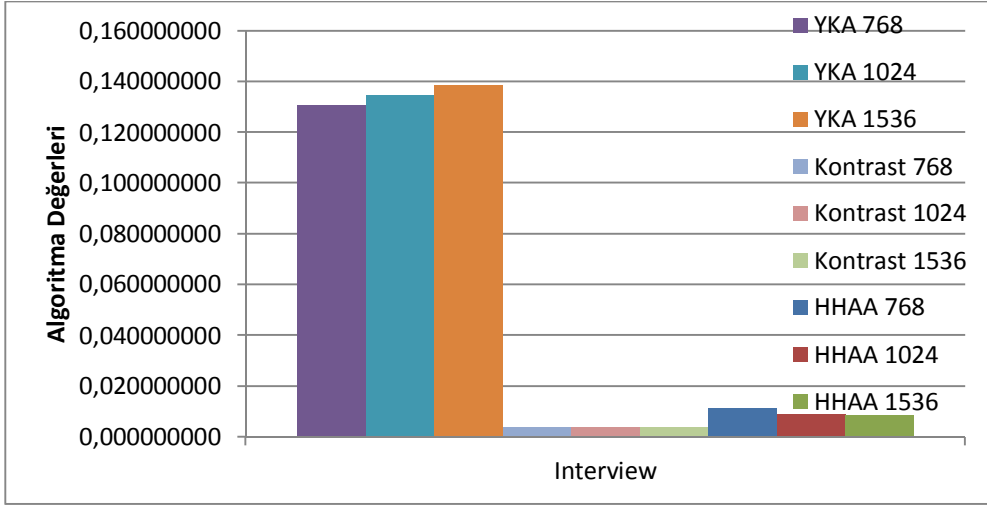
VIDEO	HHAA	YKA	KA
	KORELASYON KATSAYISI		
<i>Windmill</i>	0,99651061	0,99950032	0,94193397
<i>Interview</i>	0,92466048	0,99993585	0,99940674
<i>Chess</i>	0,99999864	0,94303403	0,99721070

Şekil 3.25'te üç farklı videoda farklı bit oranları için üç farklı algoritmamızın oluşturduğu grafikler yer almaktadır. Şekil 3.26'te algoritmaların videolar için karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Grafiklerden de görüleceği üzere her videonun yapısı nedeniyle farklı ağırlıkları vardır. Örneğin *Chess* videosunun HHAA değer diğer videolara nazaran daha az iken RNSE değeri çok fazladır. Ayrıca *Windmill* videosu HHAA ve RNSE değerleri çok az iken KA değeri en yüksektir. *Interview* videosunun ise HHAA ve KA değerleri yüksek iken RNSE değeri oldukça düşüktür. Sonuç olarak farklı videoların farklı algoritmalar için farklı ağırlıkları bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında metriğimiz yorumlanacak ve geliştirilecektir.

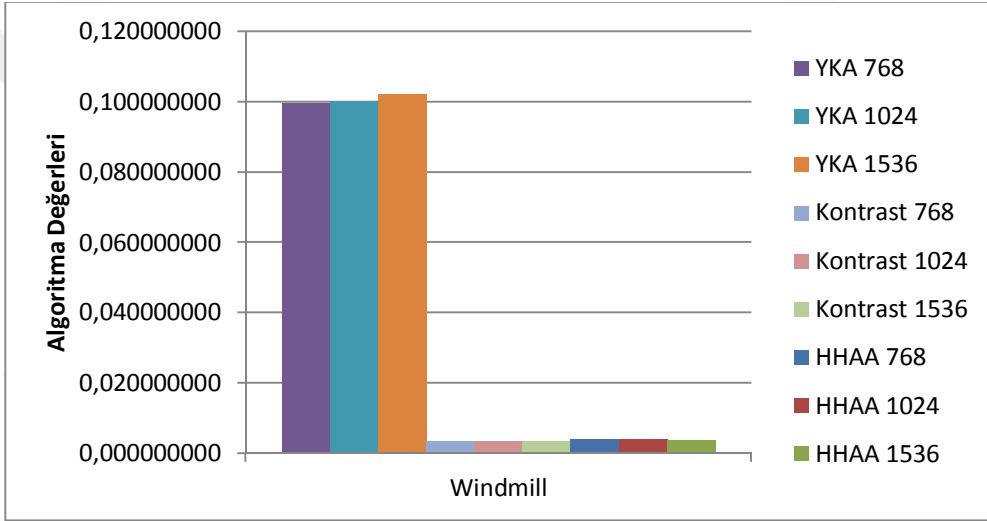


(a)

Şekil 3.25 Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a)*Windmill*, (b)*Interview*, (c)*Chess*, videolarının HHAA, YKA ve KA değerleri.

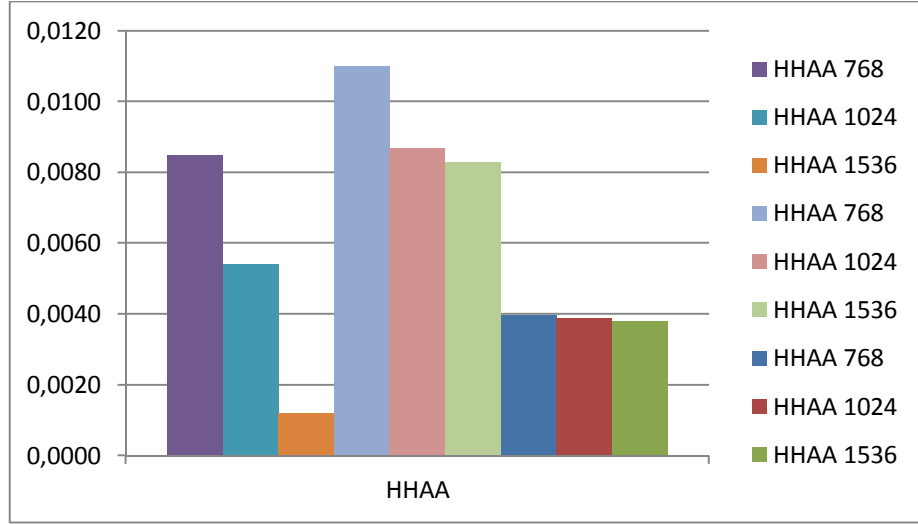


(b)

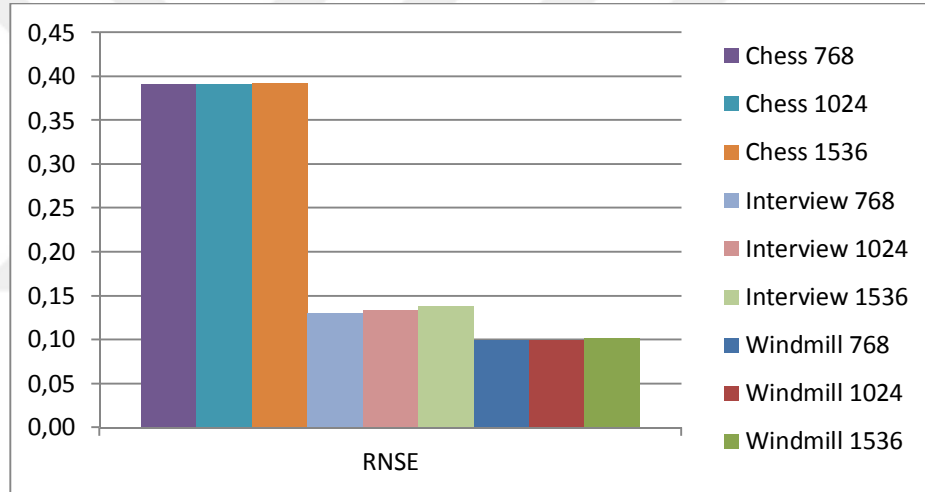


(c)

Şekil 3.25 (Devam)

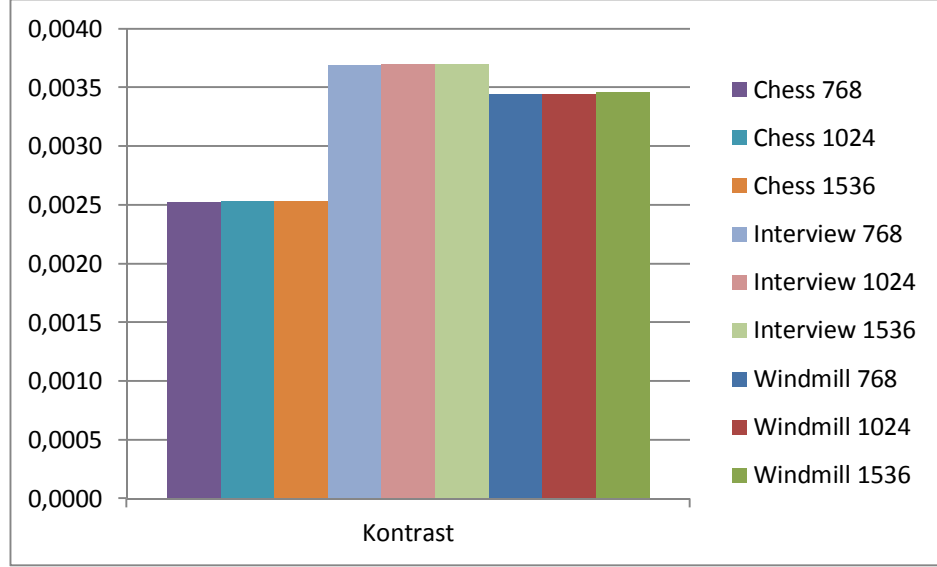


(a)



(b)

Şekil 3.26 (a)HHAA, (b)YKA, (c)KA algoritmalarının farklı bit oranlarında kodlanan Chess, Interview ve Windmill videolar için karşılaştırılması



(c)

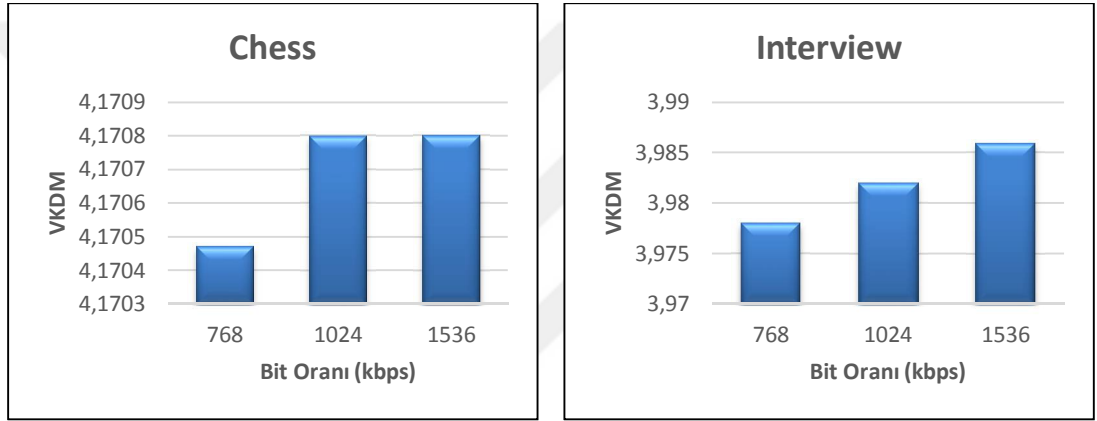
Şekil 3.26 (Devam)

Geliştirdiğimiz metrik (VKDM) Bölüm 3.1’de bulunan HHAA, Bölüm 3.2’deki YKA ve Bölüm 3.3’te yer alan KA’nın bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş ve MOS değerleri ile en yakın sonuçları elde etmek için aşağıda bulunan denklem geliştirilmiştir.

$$VKDM = YK^y + KO^z + 0,95 * \log(HHA)^x \quad (3.18)$$

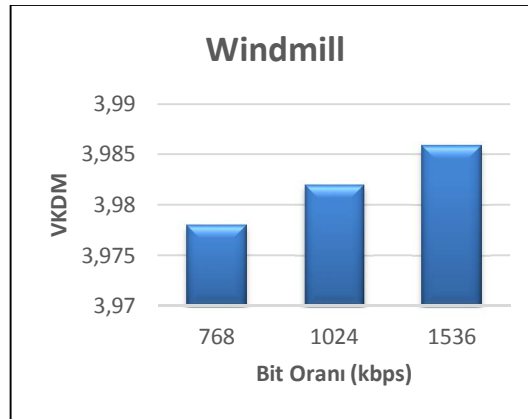
Burada $x + y + z = 1$ olacak şekilde x , hareket ve hız analizinin kuvveti; y , YK’değerinin kuvveti; z ise kontrast ölçümü kuvvetidir. Bu kuvvet değerlerinin ağırlığı, deneysel yöntemlerle belirlenmiştir. Denemeler sonucunda en iyi performans, $x = 0.7375$; $y = 0.26$; $z = 0.0025$ seçilmesiyle elde edilmiştir. Denklem (3.18) kullanılarak elde edilen VKDM sonuçları Şekil 3.27’ de yer almaktadır. Sonuçlara göre genel olarak bit oranındaki artış videonun görüntü kalitesini de arttırmıştır. *Chess* videosunda 768 kbps’den 1024 kbps’ye geçişte VKDM değerinde 0,0035gibi bir değişim yaşanmışken 1024 kbps’den 1536kbps’ye geçişteki artış yok denecek kadar az bir büyüklükte gerçekleşmiştir. *Interview* videosunda bit oranlarındaki her bir değişim VKDM değerlerinde 0,004 gibi bir değişime sebep olmuştur. *Windmill*

videosunda bit oranında 768 kbps'den 1024 kbps'ye yükselmesi VKDM değerinde de artışa sebep olmuş fakat bu artış çok sınırlı kalmış, bit oranında 1024 kbps'den 1536kbps'ye yükselmesi VKDM değerinde 0,002 gibi bir artışa sebep olmuştur. Video kodlama parametresinin (bit oranının) artmasının farklı videolarda farklı VKDM değer artışlarına neden olduğu elde edilen verilerin ışığında net bir şekilde görülmektedir. Demek ki video kodlamalarında kalite video yapısına göre değişebilmektedir. Şimdi tezde geliştirilen VKDM değerlerinin doğruluğu, MOS puanlarıyla korelasyonuna bakılarak araştırılacaktır.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3.27 Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a)*Chess*, (b)*Interview*, (c)*Windmill*, videolarının VKDM sonuçları.

Bahsedildiği üzere MOS değerleri 1 ile 5 puan arasına değer almaktaydı. Geliştirdiğimiz VKDM’inde performans ve başarısını analiz edebilmemiz için aynı değer aralığına endekslememiz gerekmektedir. Dolayısıyla bu işlevi yerine getirmek amacıyla denklem (3.19)’te formülü verilen simetrik lojistik fonksiyon [23] kullanılmıştır.

$$f(VKDM) = 5 \times \frac{1}{1 + e^{-VKDM}} \quad (3.19)$$

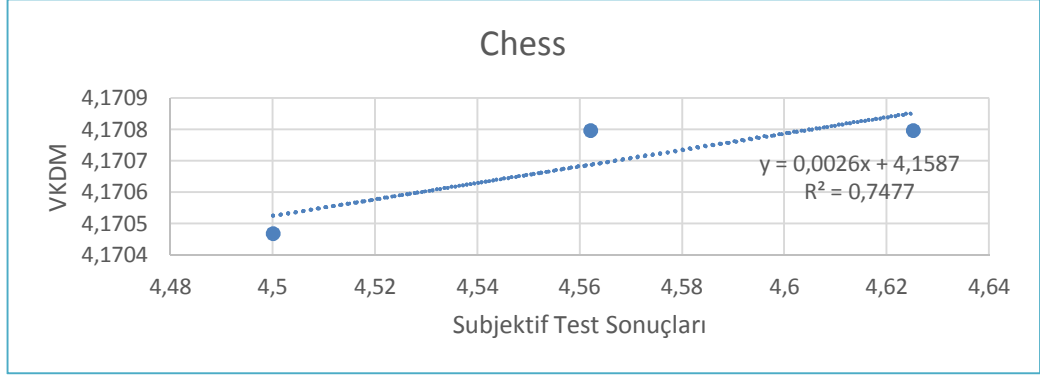
1 ila 5 arasına denklem (3.19) yardımıyla endekslenen VKDM değerleri ile MOS korelasyonunu içeren veriler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Korelasyon sonuçları VKDM’nin başarılı bir performansı olduğunu açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Çizelge 3.2 incelendiğinde *Windmill* videosunda 0.94, *Interview* videosunda 0.99 gibi çok yüksek bir başarı elde edilmiştir. *Chess* videosunda ise 0.86 korelasyon değeri ile başarılı sayılabilecek bir sonuç elde edilmiştir. Ortalama korelasyon katsayısı ise 0.93’tür. Bu veriler ışığında geliştirilen VKDM algoritmasının başarılı bir performans sergilediğini ve İGS ile videoların görüntü kalitesini değerlendirmede yüksek oranda ilintiye sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Şimdi de yukarıda bahsettiğimiz VKD’si için geliştirilen ve literatürde sıklıkla değinilen nesnel 2B video kalite ölçüm yaklaşımları (VQM, SSIM, PSNR) ile elde edilen VKD performanslarını, tezde önerilen VKDM sonuçlarıyla kıyaslanıp başarı analizi sonuçları elde edilecektir. TR metriklerinden VQM, SSIM ve PSNR metriklerinin ölçüm sonuçları, sürüm 2.6 *MSU Video Kalitesi Ölçüm Aracı* [80] ile analiz edilmiştir. Analiz sonucu MOS sonuçları ile bu metriklerin sonuçlarının korelasyonları incelenmiştir. *Chess* videosunda 0.86 ile VKDM ve 0.759 ile PSNR en iyi korelasyon sonuçlarını veren metrikler olmuştur. *Interview* videosunda VKDM 0.99 ile açık ara en iyi sonucu veren metrik olmuş, SSIM ise 0.849 ile başarılı bir korelasyon değeri yakalamıştır. *Windmill* videosunda ise sırasıyla VKDM ve VQM 0.94 ve 0.91 ile birbirine yakın ve başarılı korelasyona sahip değerler elde etmiştir. Bölüm 2.2.1’de bahsedildiği üzere PSNR, SSIM ve VQM metriklerinin dezavantajlarının bulunmasından ötürü bazı videolarda düşük korelasyona sahip değerler elde edilmiştir. Mesela, *Chess* videosunda SSIM ve VQM metriklerinden çok

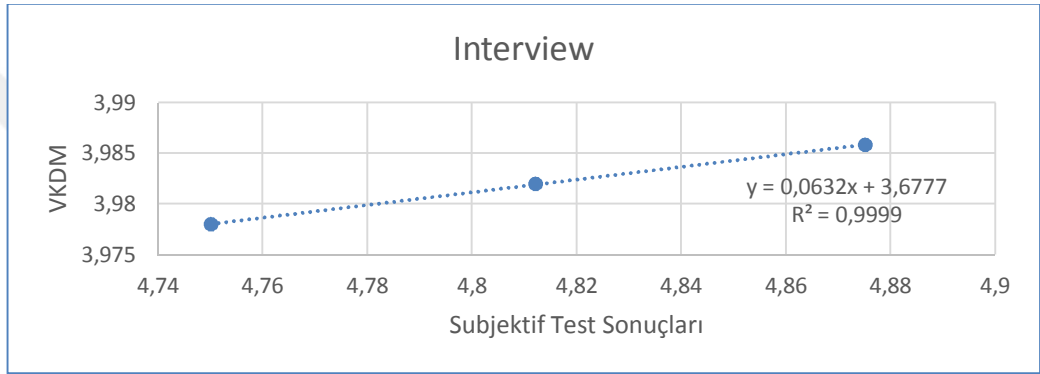
düşük sayılabilecek korelasyona sahip değerler elde edilmiştir. Önerilen VKDM metriği ise hem videonun çeşitli niteliklerini göz önünde bulundurup hem de uzamsal ve zamansa bileşenleriyle ilgilendiği için tüm videolar için başarılı sonuçlar elde etmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde VKDM metriği 0.93 gibi yüksek korelasyon değeriyle diğer metriklerden daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Sonuçlara bakıldığında hem öznel testlerle uyumlu sonuçları hem de korelasyon sonuçlarının diğer metriklerden daha yüksek olması sebebiyle 3B videolar için geliştirilen bu metrik başarılı sonuçlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 3.27’de gösterilen R kare grafikleriyle tahmin edilen değerlerin gerçek verilerinize ne kadar yakın olduğu test edilmiş metriğin başarılı sonuçları bu grafiklerce de gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.2 Geliştirilen VKDM’nin performans analizi.

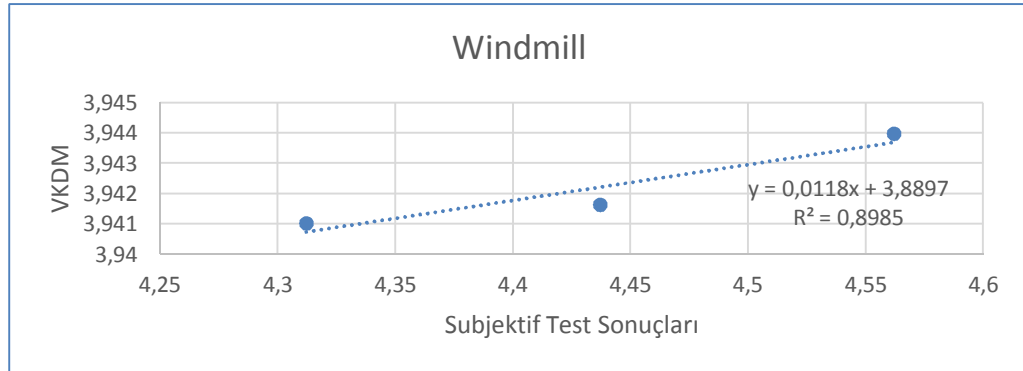
VİDEO	BİT ORANI	VKDM	KORELASYON
<i>Chess</i>	768	4,17047	0,86
	1024	4,1708	
	1536	4,1708	
<i>Interview</i>	768	3,97801	0,99
	1024	3,98201	
	1536	3,98591	
<i>Windmill</i>	768	3,94103	0,94
	1024	3,94165	
	1536	3,94399	
ORTALAMA			0,93



(a)



(b)



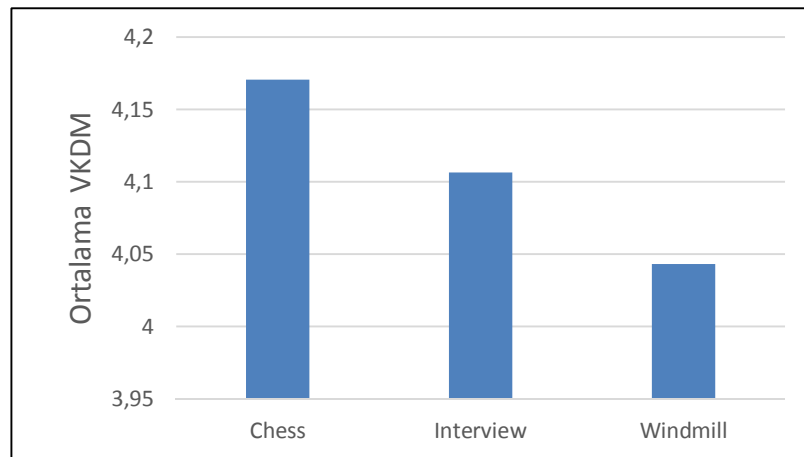
(c)

Şekil 3.28 Farklı bit oranlarında kodlanan kodlanan (a)*Chess*, (b)*Interview*, (c)*Windmill*, videolarının R kare grafikleri.

Kullanıcılar son yıllarda 3B videoları izlemeyi tercih etmekte ve 3B teknolojisi hızla artmaktadır. Dolayısıyla kullanıcılar hangi video daha kaliteli görüntüye, hangi video daha vasat görüntüye sahip bilmek isteyecektir. Aynı zamanda geliştirilen metrik farklı tarzda videoları da kalite bakımından inceleyebilecek son kullanıcıya tutarlı sonuçlar verebilecektir. Çizelge 3.3'te VKDM ile diğer metriklerin MOS sonuçlarıyla korelasyonu incelenmiş, bu inceleme yapılırken üç farklı video üç farklı bit oranında kodlanmış video ile yapılmıştır. Çizelge 3.3'te de açıkça görülmektedir ki VKDM kalite değerlendirme işleminde başarılı sonuçlar elde etmiştir. Şekil 3.29'da her videonun ortalama VKDM puanına yer verilmiştir. Bu bilgiler ışığında her bir videonun farklı VKDM puanının var olması 2B videoların VKDM'de yer alan özelliklerince sınıflandırılabilir.

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

VIDEO	KORELASYON KATSAYISI			
	VKDM	VQM	SSIM	PSNR
<i>Chess</i>	0,86	0,613	0,584	0,759
<i>Interview</i>	0,99	0,740	0,846	0,776
<i>Windmill</i>	0,94	0,880	0,800	0,910
ORTALAMA	0,93	0,75	0,76	0,82



Şekil 3.29 Ortalama VKDM puanı.

4. SONUÇLAR

Literatürde 2B videolar için güvenilir ve geniş çapta kullanılan nesnel VKD metrikleri bulunmasına rağmen 3B videolar için aynı durum söz konusu olmadığından halen öznel testler kullanılmaktadır. Bu testlerin yüksek maliyete sahip olması, uzun süren değerlendirme süreci gerektirmesi ve alıcı tarafta anlık değerlendirmeye olanak vermemesinden ötürü 3B VKD için Referanssız nesnel bir metrik geliştirilmesi çok önemlidir. Tezde önerilen VKDM algoritması, araştırmacılar için güvenilir, hızlı ve ucuz bir metrik olduğunu ve diğer kabul gören nesnel metriklerin yerini alabileceğini ve öznel testlerinde kullanmadan da videoların kalitelerinin İGS ile yüksek korelasyonla değerlendirilebileceğini göstermiştir.

2B+DH temelli 3B videolarda 2B videolar kullanılarak geliştirilen VKDM algoritması, farklı bit oranlarında kodlanan üç farklı video (*Windmill*, *Interview* ve *Chess*) için *MATLAB2013a* yazılımı desteğiyle ortaya konmuştur. Güvenilir bir metrik elde edilmesi adına VKDM algoritmasında İGS ile ilintiye sahip özellikler olan hız - hareket, YK ve kontrast göz önüne alınmıştır. Geliştirilen VKDM metriği de bu üç özellik üzerine kurulmuş algoritmalar geliştirilerek tasarlanmıştır.

VKDM ile gerçekleştirilmiş olan öznel test sonuçları vearaştırmacılar tarafından genel geçer kabul gören PSNR, SSIM ve VQM gibi nesnel VKD metriklerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. VKDM ve MOS arasında elde edilen 0.93 korelasyon değeri ile de karşılaştırılan nesnel metriklerin korelasyon değerlerinden daha iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca tezde kullanılan tüm 3B videolar için ayrı ayrı diğer metriklerden daha başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu verilerle birlikte geliştirilen VKDM algoritması için 3B VKD için İGS ile yüksek ilintiye sahip verimli bir Referanssız nesnel VKD metriği diyebiliriz. Bu özelliklerinin beraberinde getirdiği kazanımlarla izlenen videolara anlık kalite değerlendirmesi yapılabilecek ve gerekli görülmesi halinde yayınlara hızlı bir müdahale yapılabilecektir.

Tezde önerilen VKDM ile 3B video üreten şirketlere geliştirdikleri ürünlerin son kullanıcıya ulaşmadan önce ne kadar başarılı olduğunu test etme imkânı sağlanabilir.

Bu testler neticesinde elde edilen geri bildirimlerle de piyasaya daha iyi ürünler sunulmasını ve ürünlerinin daha çok kullanıcıya ulaşılmasını sağlanabilir. Ayrıca bu metrik yardımıyla çoklu ortam servisleri daha verimli kullanılabilir ve metrik İGS'ye hitap eden 3B video teknolojilerinin gelişmesine katkıda bulunabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Motion Picture Association of America, Inc., Theatrical Market Statistics 2014, <http://www.mpa.org/wp-content/uploads/2015/03/MPAA-Theatrical-Market-Statistics-2014.pdf/> (Erişim tarihi: 18.06.2015)
- [2] Research and Statistics Unit British Film Institute, BFI Statistical Yearbook 2014, London, 2014.
- [3] Frederic Dufaux, Beatrice Pesquet-Popescu, Marco Cagnazzo, Emerging Technologies for 3D video : Creation, Coding, Transmission and Rendering, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 2013.
- [4] V. Teulade, "3D Here and Now...a goose that lays a golden egg?" PricewaterhouseCoopers Entertainment, Media & Communications, 2010.
- [5] Stephan Reichelt, Ralf Häussler, Gerald Fütterer, and Norbert Leister, "Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays," Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010, Bahram Javidi and Jung-Young Son, Editors, Proc. SPIE 7690, 2010.
- [6] S. L. P. Yasakethu et al., "Quality Analysis for 3D Video Using 2D Video Quality Models", IEEE Transactions on Consumer Electronics, 54 (4) NOVEMBER 2008.
- [7] Chaminda Hewage, 3D Video Processing and Transmission Fundamentals, <http://bookboon.com/en/3d-video-processing-and-transmission-fundamentals-ebook/> (Erişim tarihi: 05.03.2015)
- [8] Al Bovik, The Essential Guide to Image Processing, Elsevier Inc., California, 2009.

- [9] Getty Images, <http://www.gettyimages.com/> (Erişim tarihi: 26.09.2015)
- [10] Anonim, <http://www.3dphoto.net/forum/index.php?topic=7175.0/> (Erişim tarihi: 19.06.2015)
- [11] T. Vaughan, Principles Of 3D Video And Blu-Ray 3D, Cyberlink, 2010.
- [12] Washington University,
http://courses.washington.edu/psy333/lecture_pdfs/chapter8_DepthSize.pdf/
(Erişim tarihi: 22.07.2015)
- [13] Z. M Parvez Sazzad, Shouta Yamanaka, Yoshikazu Kawayoke, and Yuukou Horita, Stereoscopic Image Quality Prediction, Quality of Multimedia Experience, QoMEx, July 2009.
- [14] C. T. E. R. Hewage, Perceptual Quality Driven 3-D Video over Networks. Doktora Tezi. Surrey Üniversitesi, 2008.
- [15] Özlem Aydoğmuş, 2D to 3D Video Conversion . Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [16] Anonim, https://en.wikipedia.org/wiki/Stereo_display/ (Erişim tarihi: 26.06.2015)
- [17] Selim Sefa Sarıkan, Visual Quality Assessment for Stereoscopic Video Sequence. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2011.
- [18] G. Nur, H. Kodikara Arachchi, S. Dogan, and A. M. Kondoz, Advanced Adaptation Techniques for Improved Video Perception, IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, pp. 225-240, ISSN 1051-8215, 2012.

- [19] Chikkerur, S.; Sundaram, V.; Reisslein, M.; Karam, L.J., Objective Video Quality Assessment Methods: A Classification, Review, and Performance Comparison, in Broadcasting, IEEE Transactions on , 57 (2): 65-182, June 2011.
- [20] Anonim, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_opinion_score (Erişim tarihi: 04.04.2015)
- [21] Anonim, <http://www.ntt.co.jp/qos/qoe/eng/technology/visual/index.html/> (Erişim tarihi: 12.05.2015)
- [22] International Telecommunication, ‘Subjective video quality assessment methods for multimedia applications’, Rec. ITU-T P.910, Apr. 2008.
- [23] International Telecommunication, ‘Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures’, ITU-R BT.500-11, Jan. 2002.
- [24] International Telecommunication, ‘Methodology for the subjective assessment of video quality in multimedia applications, Rec. ITU-R BT.1788, 2007.
- [25] IJsselsteijn, W.A.; de Ridder, H.; Vliegen, J., Subjective evaluation of stereoscopic images: effects of camera parameters and display duration, in Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on , 10 (2): 225-233, Mar 2000.
- [26] Kawano, T.; Yamagishi, K.; Hayashi, T., Performance comparison of subjective assessment methods for 3D video quality, in Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2012 Fourth International Workshop on, 218-223, 5-7 July 2012.
- [27] Seshadrinathan, K.; Soundararajan, R.; Bovik, A.C.; Cormack, L.K., Study of Subjective and Objective Quality Assessment of Video, in Image Processing, IEEE Transactions on , 19 (6): 1427-1441, June 2010.

- [28] Anonim, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/PSNR> (Erişim tarihi: 11.10.2013).
- [29] 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, 3 (2): 304-318, Apr. 2009.
- [30] G. Ertan 3-Boyutlu Asimetrik Video kodlamaları İçin Kalite Metriklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2011.
- [31] Sayed Ali Amirshahi, Towards a Perceptual Metric for Video Quality Assessment. Yüksek Lisans Tezi. Gjøvik University of College, Norway, 2010.
- [32] Anonim, Mathworks, <http://www.mathworks.com/help/images/ref/ssim.html?requestedDomain=www.mathworks.com> (Erişim tarihi: 28.05.2015)
- [33] 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, 13, 600 - 612, 2004.
- [34] Z. Wang, L. Lu, and A. C. Bovik, Video quality assessment based on structural distortion measurement, Proc. of Signal Processing: Image Com., 9 (2): 121-132, 2004.
- [35] Rahul Gaurav, Video Quality Assessment Using Subjective and Objective Metrics. Yüksek Lisans Tezi. Işık Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [36] Z. Wang, E. P. Simoncelli, and A. C. Bovik, Multi-Scale Structural Similarity For Image Quality Assessment Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, Nov. 9-12, 2003.

- [37] 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.
- [38] Mylène C. Q. Farias (2010). Video Quality Metrics, Digital Video, Floriano De Rango (Ed.), ISBN: 978-953-7619-70-1, InTech, DOI: 10.5772/8038. Available from: <http://www.intechopen.com/books/digital-video/video-quality-metrics>.
- [39] Z. Wang and A. C. Bovik A Universal Image Quality Index , IEEE Signal Processing Letters, 9 (3), March 2002.
- [40] Patrizio Campisi, Patrick Le Callet and Enrico Marini, Stereoscopic Images Quality Assessment Proceedings of the 15th European Signal Processing Conference, Eurasip EUSIPCO, 2007.
- [41] Egiazarian, K.; Katkovnik, V.; Astola, J., Adaptive window size image denoising based on ICI rule, in Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings. (ICASSP '01). 2001 IEEE International Conference on, 3, 1869-1872, 2001.
- [42] Wei Fu; Xiaodong Gu; Yuanyuan Wang, Image quality assessment using edge and contrast similarity, in Neural Networks, 2008. IJCNN 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE International Joint Conference 852-855, 1-8 June 2008.
- [43] Hewage, C.T.E.R.; Martini, M.G., Reduced-reference quality assessment for 3D video compression and transmission, in Consumer Electronics, IEEE Transactions on , 57 (3): 1185-1193, August 2011.
- [44] Albonico, A.; Valenzise, G.; Naccari, M.; Tagliasacchi, M.; Tubaro, S., A reduced-reference video structural similarity metric based on no-reference

estimation of channel-induced distortion, in Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009. ICASSP 2009.

- [45] Fu-zheng, Y.; Xin-dai, W.; Yi-lin, C.; Shuai, W., A no-reference video quality assessment method based on digital watermark, in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. PIMRC 2003. 14th IEEE Proceedings on , 3, 2707-2710, 7-10 Sept. 2003.
- [46] Farias, M.C.Q.; Carli, M.; Mitra, S.K., Objective video quality metric based on data hiding, in Consumer Electronics, IEEE Transactions on , 51 (3): 983-992, Aug. 2005.
- [47] Fuzheng Yang; Shuai Wan; Yilin Chang; Hong Ren Wu, A novel objective no-reference metric for digital video quality assessment, in Signal Processing Letters, IEEE ,12 (10): 685-688, Oct. 2005.
- [48] Oprea, C.; Pirnog, I.; Paleologu, C.; Udrea, M., Perceptual Video Quality Assessment Based on Salient Region Detection, in Telecommunications, 2009. AICT '09. Fifth Advanced International Conference on, 232-236, 24-28 May 2009.
- [49] Maalouf, A.; Larabi, M.-C., A no-reference color video quality metric based on a 3D multispectral wavelet transform, in Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2010 Second International Workshop on , 11-16, 21-23 June 2010.
- [50] Sazzad, Z.M.P.; Yamanaka, S.; Kawayokeita, Y.; Horita, Y., Stereoscopic image quality prediction, in Quality of Multimedia Experience, 2009. QoMEX 2009. International Workshop on, 180-185, 29-31 July 2009.

- [51] Atanas Boev, Alessandro Foi, Karen Egiazarian, Vladimir Katkovnik, Adaptive Scales As A Structural Similarity Indicator For Image Quality Assessment, The First International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics, January, 2006.
- [52] Scott J. Daly; Visible differences predictor: an algorithm for the assessment of image fidelity. Proc. SPIE 1666, Human Vision, Visual Processing, and Digital Display III, 1992.
- [53] Rafał Mantiuk A, Scott Daly B, Karol Myszkowski A, Hans-peter Seidel A, Predicting Visible Differences in High Dynamic Range Images - Model and its Calibration, Human Vision and Electronic Imaging X, IS&T/SPIE's 17th Annual Symposium on Electronic Imaging, 2005.
- [54] Andrew B. Watson, James Hu, John F McGowan III, DVQ: A digital video quality metric based on human vision Journal of Electronic Imaging, 2001.
- [55] Watson, A.B., Towards a visual quality metric for digital video, in Signal Processing Conference (EUSIPCO 1998), 9th European, 1-4, 8-11 Sept. 1998.
- [56] JSVM 9.13.1. CVS Server [Online]. Available Telnet: [garcon.ient.rwth aachen.de:/cvs/jvt](telnet://garcon.ient.rwth-aachen.de:/cvs/jvt)
- [57] Angel D. Sappa and Fadi Dornaika, An Edge-Based Approach to Motion Detection, Computational Science – ICCS 2006, 3991, 2006.
- [58] Chen, M.; Xu, X.L., An improved method for motion detection by image difference, in Information Science and Control Engineering 2012 (ICISCE 2012), IET International Conference on, 1-3, 7-9 Dec. 2012.
- [59] Jin-Bin Yang, Min Shi, Qing-Ming Yi, New Method for Motion Target Detection by Background Subtraction and Update, 2012 International

Conference on Medical Physics and Biomedical Engineering (ICMPBE2012) 33, 2012.

- [60] Hongche Liu, Tsai-Hong Hong, Martin Herman, Ted Camus, Rama Chellappa, Accuracy vs. Efficiency Trade-offs in Optical Flow Algorithms, *Computer Vision and Image Understanding* 72 (3), December 1998.
- [61] Junfang Song; Cao Huang; Ru Xue, A practical updating background method in moving target detection, in *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd International Conference on*, 2322-2324, 21-23 April 2012.
- [62] Tamersoy B. , *Background Subtraction – Lecture Notes*, September 2009.
- [63] Brajesh Patel, Neelam Patel, Motion Detection based on multi frame video under Surveillance System, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2 (1), January 2012.
- [64] Nan Lu, Jihong Wang, Wu, Q.H. , Li Yang, An improved Motion Detection method for real time Surveillance, *IAENG International Journal of Computer Science*;Mar2008, 35 (1), March 2008.
- [65] Honh Zhou, Yiru Chen, Rong Feng, A novel background subtraction method based on color invariants, *Computer Vision and Image Understanding* 117 (11), November, 2013.
- [66] G. Nur, H. Kodikara Arachchi, S. Dogan, and A. M. Kondozi Modeling User Perception of 3D Video Based on Ambient Illumination Context for Enhanced User Centric Media Access and Consumption, *Springer Multimedia Tools and Applications Journal Special Issue on User Centric Media*, 2011.

- [67] Maria G Martini, Barbara Villarini and Federico Fiorucci, A reduced-reference perceptual image and video quality metric based on edge preservation, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2012.
- [68] Hewage, C.T.E.R.; Martini, M.G., Reduced-reference quality metric for 3D depth map transmission, in 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON), 2010, 1-4, 7-9 June 2010.
- [69] Hewage, C.T.E.R.; Martini, M.G., Edge-Based Reduced-Reference Quality Metric for 3-D Video Compression and Transmission, in Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of , 6 (5): 471-482, Sept. 2012.
- [70] Maria G.Martini, Chaminda T.E.R. Hewage, BarbaraVillarini, Image quality assessment based on edge preservation, Brajesh Patel, Neelam Patel, Motion Detection based on multi frame video under Surveillance System, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2 (1), January 2012.
- [71] Min Zhang; Xuanqin Mou; Zhang, D., Non-Shift Edge Based Ratio (NSER): An Image Quality Assessment Metric Based on Early Vision Features, in Signal Processing Letters, IEEE , 18 (5): 315-318, May 2011.
- [72] D. Marr, Vision. New York: W. H. Freeman, 1980.
- [73] Anonim, <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/log.htm/> (Erişim tarihi: 11.07.2015)
- [74] Nur, G.; Arachchi, H.K.; Dogan, S.; Kondoç, A.M., Extended VQM model for predicting 3D video quality considering ambient illumination context, in 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON), 2011, 1-4, 16-18 May 2011.

- [75] Wufeng Xue; Xuanqin Mou, An image quality assessment metric based on Non-shift Edge, in Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on, 3309-3312, 11-14 Sept. 2011.
- [76] Anonim, Cambridge Colour,
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/histograms1.htm/> (Erişim tarihi: 24.06.2015)
- [77] Kulkarni Narayan Nagorao, Dr. Gaikwad Ashok Tejrao, Digital Image Enhancement and Histogram Processing, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, December 2013.
- [78] Shivakumara, P.; Huang, W.; Quy Phan, T.Q.; Lim Tan, C.L., Accurate video text detection through classification of low and high contrast images, Pattern Recognition 03 (6), June, 2010.
- [79] Jaya V L and R Gopikakumari, IEM: A New Image Enhancement Metric for Contrast and Sharpness Measurements, International Journal of Computer Applications 79 (9): 1-9, October 2013.
- [80] Dmitriy, V., MSU Graphics & Media Lab (Video Group),
http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html
(Erişim tarihi: 10.05.2014)