

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZAMSAL ÇÖZÜNÜRLÜĞE BAĞLI
3 BOYUTLU VİDEO ADAPTASYONU

Şahin COŞKUN

ARALIK 2019

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Şahin COŞKUN tarafından hazırlanan **UZAMSAL ÇÖZÜNÜRLÜĞE BAĞLI 3 BOYUTLU VİDEO ADAPTASYONU** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nihat İNANÇ

Anabilim Dalı Başkanı

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

Doç. Dr. Gökçe NUR YILMAZ

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Gökçe NUR YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

27/11/2019

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

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Şehit Yüzbaşı Alper KOCAMAN'a

ÖZET

UZAMSAL ÇÖZÜNÜRLÜĞE BAĞLI 3 BOYUTLU VIDEO ADAPTASYONU

COŞKUN, Şahin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gökçe NUR YILMAZ

Aralık 2019, 116 sayfa

Multimedya içeriklerine gelişmiş teknolojilerle üretilen ve internet ağlarına bağlanabilen terminal cihazları üzerinden erişmek isteyen izleyici profilinin temel sorunu, bazı fiziki kısıtlamalara maruz kalan multimedya içeriğinin izleyicinin görsel deneyiminde oluşturması beklenen etkiyi optimum seviyede gösterememesidir. Bu durum, günümüzde oldukça ilgi çeken 3 Boyutlu (3B) videoların, özellikle sınırlı band genişliği, terminal cihaz ekran boyutu gibi kısıtlamalar altında, izleyicilerde 3B video izleme zevkini daha fazla hissettirerek memnuniyeti artıracak şekilde nasıl iletilebileceğine ilişkin araştırmaların oldukça fazla rağbet görmesine neden olmuştur. Sınırlı band genişliğine sahip bir kanal üzerinden iletilen ve kaynakları sınırlı bir terminal cihaz üzerinden erişilen 3B videoların izleyici tarafında oluşturduğu derinlik algısının 3B video izleme hissini izleyiciye verecek seviyede olması son derece önemlidir. Bu nedenle, bir yandan maruz kalınan fiziki kısıtlamalarla baş edilirken diğer yandan 3B videolarda izleyicide derinlik algısını meydana getiren ölçeklenebilir unsurların izleyiciye ulaşana kadar yeterli miktarda korunması gerekmektedir.

Bu bilgiler ışığında bu tez çalışmasının amacı, 3B videolarda izleyicideki derinlik algısını etkileyen uzamsal çözünürlük bağlantılı 2 Boyutlu (2B) renkli video ve Derinlik Haritası (DH) bazlı 3B video özelliklerinin en iyi kombinasyonu temel alınarak sınırlı band genişliğine sahip kanal ve terminal cihaz ekran boyutu kısıtlamaları üzerinde adaptasyon işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla bu tezde ilk olarak izleyicilerde oluşan derinlik algısını etkileyen 2B videolardan elde edilen bulanıklık ve hareket seviyesi bilgileri ile DH'lerden elde edilen ağ katmansal görüntü boyutu ve yakınsama bilgileri, adaptasyon işlemlerinde kullanılmak üzere uzamsal çözünürlük bağlantılı özellikler olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında bu belirlenen özellikler için ayrı ayrı özgün ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Ardından, 2B video ve DH'ler için oluşturulan ölçüm teknikleri korelasyon analizi yöntemi kullanılarak öznel test sonuçları ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirme kullanılarak ölçüm teknikleri arasındaki ilişkiel önemleri, farklı uzamsal çözünürlükleri ve bit oranlarını modelleyen bir Fayda Fonksiyonu (FF) oluşturulmuştur. Söz konusu fonksiyon kullanılarak fayda tabanlı yaklaşımla bir adaptasyon kararı alma tekniği geliştirilmiştir. Bunu takiben, geliştirilen adaptasyon kararı alma tekniği de kullanılarak uzamsal çözünürlüğe bağlı bir 3B video adaptasyonu modeli oluşturulmuştur. Bu model aracılığı ile elde edilen sonuçlardan, farklı uzamsal çözünürlük kombinasyonlarına sahip 2B videolar ve DH'lerin sınırlı band genişliğine sahip kanal ve terminal cihaz ekran boyutu kısıtlamalarına takılmadan izleyicide 3B video izleme memnuniyetinin oldukça verimli şekilde elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B video adaptasyonu, uzamsal çözünürlük, fayda fonksiyonu, adaptasyon kararı alma tekniği.

ABSTRACT

3 DIMENSIONAL VIDEO ADAPTATION BASED ON SPATIAL RESOLUTION

COŞKUN, Şahin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökçe NUR YILMAZ

December 2019, 116 pages

The main problem of the viewers who want to access multimedia contents via terminal devices that are produced with advanced technologies and can be connected to internet networks, is that the multimedia contents subject to some physical constraints do not present the expected effect on their visual experience at an optimum level. This has led to a much sought-after research on how 3 Dimensional (3D) video, which is currently taking high interest, can be transmitted in a way that enhances the satisfaction of the viewing experience of the users towards the 3D video especially under limited bandwidth, terminal device screen size, etc. constraints. It is of utmost importance that the depth perception generated by the 3D videos transmitted over channel switch limited bandwidth and accessed through limited terminal devices is sufficient to give the viewer the 3D video viewing sensation. Therefore, while handling, the physical constraints exposed, it is required that the scalable parameters ensuring depth

perception of the viewers should be adequately protected until they reach to the viewers.

Under the lights of these information, the aim of this thesis is to perform adaptation operations considering the best combinations of the spatial resolution associated 2D video and Depth Map (DM) based 3D video characteristics affecting the depth sensation on the viewers under limited channel bandwidth and terminal device screen size constraints. For this purpose, in this thesis, firstly, the blur and motion level information obtained from the 2D videos together with retinal image size and convergence information obtained from DMs, which affect the depth perception of the viewers, are identified as spatial resolution related features to be used in the adaptation processes. Then, unique measurement techniques are developed for these identified features. Following this, the developed are correlated with the subjective test results using the correlation analysis. Using this correlation, a Utility Function (UF) modelling the relational significance of the measurement techniques, different spatial resolutions, and bit rates are developed. Using this function, an adaptation decision technique is developed with a utility-based approach. Subsequently, a spatial resolution associated 3D video adaptation model generated using the adaptation decision making technique developed. From the results obtained using the developed model, it is concluded that considering the different spatial resolution combinations of the 2D video and DMs, high 3D video viewing satisfaction of the viewers can be achieved without being tackling the limited bandwidth channel and terminal device screen size constraints.

Key Words: 3D video adaptation, spatial resolution, utility function, adaptation decision making technique.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında hiçbir yardımcı esirgemeyen, kaynaklarını, bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan ve tezimi tamamlama sürecinde bana yol gösteren tez yöneticisi hocam Sayın Doç. Dr. Gökçe NUR YILMAZ'a teşekkür ederim.

Ayrıca bana güvenen ve beni cesaretlendiren eşime ve ailesine gösterdikleri sabır nedeniyle teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	1
ABSTRACT	3
TEŞEKKÜR	5
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	6
ÇİZELGELER DİZİNİ	8
ŞEKİLLER DİZİNİ	9
KISALTMALAR DİZİNİ	11
1. GİRİŞ	14
1.1. Genel.....	14
1.2. Video Adaptasyonu	16
1.2.1. Adaptasyon Kararının Alınması.....	20
1.2.1.1. Bilgi Tabanlı Adaptasyon Kararı Alma Yaklaşımı	21
1.2.1.2. Fayda Tabanlı Adaptasyon Kararı Alma Yaklaşımı.....	21
1.3. 3B Video	22
1.3.1. 3B Videoların Oluşturulması	22
1.3.2. 3B Videoların Görüntülenmesi	26
1.3.2.1. Anagram Görüntüleme Tekniği	26
1.3.2.2. Polarize (Pasif) Görüntüleme Tekniği.....	27
1.3.2.3. Aktif (Shuttered) Görüntüleme Tekniği	28
1.3.2.4. Gözlüksüz Görüntüleme Tekniği.....	29
1.4. Derinlik Algısını Etkileyen Unsurlar.....	30
1.5. 3B Video Adaptasyonu	31
1.6. Korelasyon Analizi.....	32
2. LİTERATÜRDEKİ VIDEO ADAPTASYONU ÇALIŞMALARI	35

3. ÖNERİLEN UZAMSAL ÇÖZÜNÜRLÜĞE BAĞLI 3B VİDEO ADAPTASYONU MODELİ	46
3.1. Kullanılan Videolar ve Özellikleri.....	48
3.2. 2B Videolar İçin Geliştirilen Ölçüm Teknikleri.....	50
3.2.1. Bulanıklık (Blur – BL).....	50
3.2.2. Hareket Bilgisi (Motion Information – MI).....	57
3.3. DH'ler İçin Geliştirilen Ölçüm Teknikleri	69
3.3.1. Ağ Katmansal Görüntü Boyutu (Retinal Image Size – RIS).....	69
3.3.2. Yakınsama (Convergence – CONV).....	73
3.4. Öznel Testlerin Gerçekleştirilmesi	77
3.5. C ve D Ağırlık Fonksiyonlarının Belirlenmesi	78
3.6. FF'nin Belirlenmesi.....	79
3.7. Adaptasyon Kararının Alınması.....	80
4. BULGULAR	81
4.1. Bulanıklığa İlişkin Bulgular	81
4.2. Hareket Bilgisine İlişkin Bulgular	82
4.3. Ağ Katmansal Görüntü Boyutuna İlişkin Bulgular.....	83
4.4. Yakınsamaya İlişkin Bulgular	85
4.5. Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular	86
4.6. FF Kullanılarak Elde Edilen Bulgular	88
4.7. Adaptasyon Kararının Alınmasına İlişkin Bulgular	93
5. SONUÇLAR VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR.....	105
KAYNAKLAR	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Korelasyon katsayılarının yorumlanması	34
3.1. Çalışmada kullanılan 3B videolar ve orijinal boyutları	47
4.1. Bulanıklık ölçümleri	81
4.2. Hareket bilgisi ölçümleri	82
4.3. Ağ katmamsal görüntü boyutu ölçümleri	84
4.4. Yakınsama ölçümleri	85
4.5. Korelasyon değerleri	87
4.6. FF hesaplamaları	90
4.7. Adaptasyon kararının alınması	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. UMA konsepti [2]	15
1.2. Heterojen ağlar üzerinde video adaptasyonu [13]	17
1.3. Video adaptasyonu işlemi	17
1.4. Adaptasyon, kaynak ve fayda uzayları arasındaki ilişki [13]	18
1.5. Video adaptasyonu işlemlerinin sınıflandırılması [13]	19
1.6. 3B görüntü kaydı: (a) İki kameralı sistem; (b) İki lensli kamera [23]	22
1.7. 3B video oluşturma yöntemleri: (a) Çerçeve sıralamalı yöntem; (b) Yan yana sıralama yöntemi; (c) Birbirine geçmeli sıralama yöntemi; (ç) Üst/alt sıralama yöntemi [24]	23
1.8. 2B video ve DH ile 3B video oluşturulması [28]	25
1.9. Anagram görüntüleme tekniği [30]	27
1.10. Polarizasyon işlemi [31]	27
1.11. 3B videoların polarize görüntüleme tekniği ile görüntülenmesi [32]	28
1.12. 3B videonun aktif görüntüleme tekniğiyle görüntülenmesi; (a) Sağ gözün karartılması; (b) Sol gözün karartılması [33]	28
1.13. Otostereoskopik ekranlar: (a) Paralaks bariyerli; (b) Merceksel lensli [36]	29
1.14. Stereoskopik görüş [38]	30
1.15. Monoküler ipuçları: (A) örtüşme, (B) doku gradyanı, (C) lineer perspektif, (D) atmosferik perspektif, (E) göreceli boyut, (F) göreceli yükseklik, (G) gölge [39]	31
1.16. Korelasyon tipleri [43]	33
3.1. Geliştirilen adaptasyon kararı alma tekniği ve 3B video adaptasyonu modeli	47
3.2. Adaptasyon için 2B video ve DH kombinasyonları	47
3.3. Renkli videolara ve ilişkili DH'lere ait anlık görüntüler	48
3.4. Bulanıklık nedenleri: (a) Hareket [74]; (b) Düşük lens kalitesi [75]; (c) Odaklanma sorunu [75]; (ç) Sıkıştırma [76]	50

3.5.	Kontrastın bulanıklığa etkisi: (a), (b) Düşük kontrastlı görüntü ve histogramı; (c), (d) Yüksek kontrastlı görüntü ve histogramı [76]	52
3.6.	Bulanıklık ölçüm algoritması akış şeması	54
3.7.	Parlaklık pikselinin şiddetinin değişmeden yer değişimi [85]	56
3.8.	Parlaklık pikselinin yer değişiminin hız bileşenleriyle gösterimi [86]	57
3.9.	Belirsizlik sorunu [90]	58
3.10.	(a) Berber direği [93]; (b) Berber direğinin optik akışı [94]	59
3.11.	E_x , E_y ve E_t hesaplamaları için kullanılan küp yöntemi [95]	63
3.12.	Hareket bilgisi hesaplama algoritması akış şeması	66
3.13.	Emmert Kanunu [97]	67
3.14.	Nesneye olan mesafeye göre ağ katmansal görüntü boyutunun değişimi [100]	68
3.15.	Geliştirilen ağ katmansal görüntü boyutu algoritması akış diyagramı	70
3.16.	Yakınsama olayı [104]	71
3.17.	Farklı yüzey alanlarına sahip nesnelerin yakınsaması [104]	73
3.18.	Geliştirilen yakınsama algoritması akış diyagramı	74

KISALTMALAR DİZİNİ

2B	2 Boyutlu
3B	3 Boyutlu
4K	Ultra HD
AKD	Ayrık Kosinüs Dönüşümü
ASKB	Ağ Soyutlama Katmanı Birimleri
BL	Blur
CIF	Common Intermediate Format
CONV	Convergence
DCT	Discrete Cosine Transform
DCAF	Dynamic Content Adaptation Framework
DFBÇE	Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
DGDT	Derinlik Görüntüsü Tabanlı Derleme
DH	Derinlik Haritası
DIA	Digital Item Adaptation
DIBR	Depth Image-Based Rendering
DİAÇ	Dinamik İçerik Adaptasyonu Çerçevesi
DK	Deneyim Kalitesi
DM	Depth Map
DRM	Digital Rights Management
EME	Evrensel Multimedya Erişimi
EVA	Evrensel Video Adaptasyonu
FF	Fayda Fonksiyonu
fps	Frame per Second
HD	High Definition
HGUG	Hareketli Görüntü Uzmanları Grubu
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
İGS	İnsan Görme Sistemi

LCD	Liquid Crystal Display
MI	Motion Information
MOS	Mean Opinion Score
MPEG	Moving Picture Experts Group
NALU	Network Abstraction Layer Unit
O – B	Oran – Bozulma
OFDMA	Orthogonal Freq. Division Multiple Access
OGP	Ortalama Görüş Puanı
ÖVK	Ölçeklenebilir Video Kodlama
QCIF	Quarter Common Intermediate Format
QoE	Quality of Experience
QP	Quantization Parameter
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
R – D	Rate - Distortion
RIS	Retinal Image Size
SBS	Side By Side
SD	Standard Definition
SHY	Sayısal Haklar Yönetimi
SSCQE	Single Stimulus Continuous Quality Evaluation
SSIM	Structural Similarity Index Measure
SVC	Scalable Video Coding
TSGO	Tepe Sinyal – Gürültü Oranı
TUSKD	Tekli Uyarıcı Sürekli Kalite Değerlendirmesi
UF	Utility Function
UMA	Universal Multimedia Access
UTB	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
UVA	Universal Video Adaptation
VKD	Video Kalite Değerlendirmesi
VKM	Video Kalite Metriği
VR	Viewing Ratio

VQM

Video Quality Metric

YPEÖ

Yapısal Benzerlik Endeksi Ölçümü



1. GİRİŞ

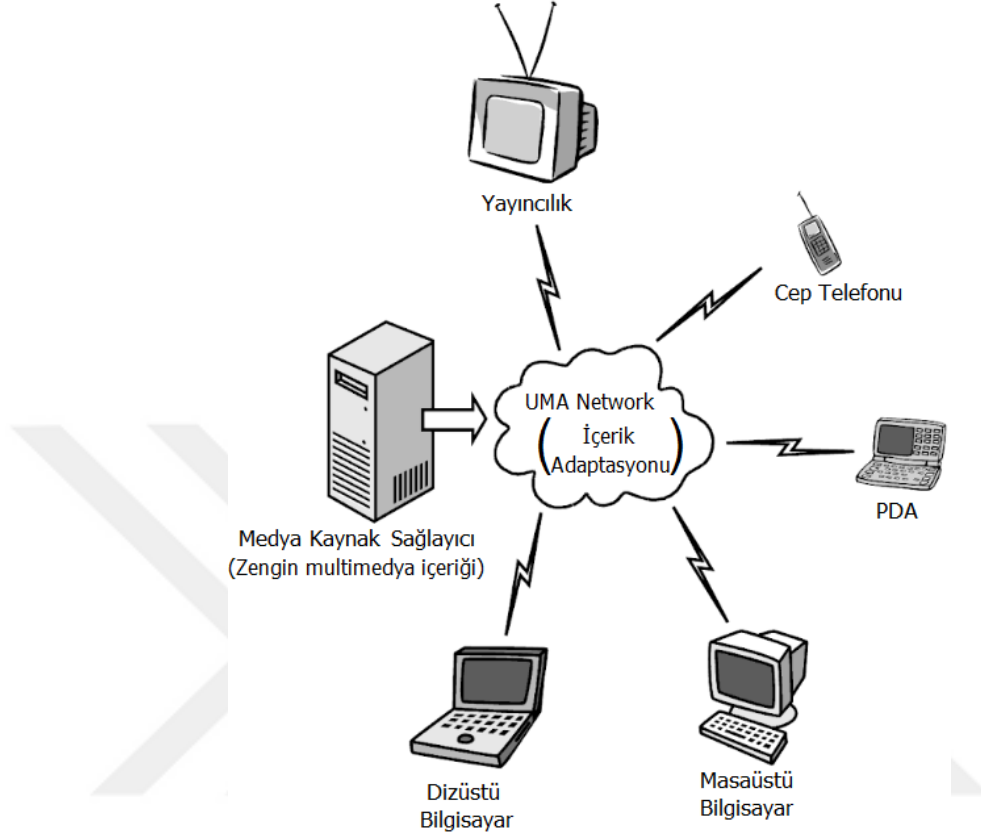
1.1. Genel

Gelişmiş teknolojiler ile üretilen ve özellikle geniş band teknolojisi ile yakınsamaya başlayarak internet ağları üzerinden multimedya içeriklere erişebilen birçok yeni terminal cihaz günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. İletişim çağında yaşayan insanoğlu, özellikle haber alma ihtiyacını karşılamak için arzu ettiği içeriği herhangi bir zamanda herhangi bir yerde herhangi bir cihaz üzerinde herhangi bir kısıtlamaya (hız, vb.) maruz kalmaksızın takip etmek isteyen izleyici kitlelerine dönüşmüştür. Bu durum, Evrensel Multimedya Erişimi (EME) (Universal Multimedia Access – UMA) konseptinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

EME konsepti, farklı ve değişken ağ koşulları, çeşitli terminal donanım özellikleri, belirli kullanıcı/yaratıcı tercihleri/ihtiyaçları ve kullanım ortamı koşulları altında multimedya kaynaklarının dağıtımını ele almaktadır [1]. EME; herhangi bir ağ üzerinden herhangi bir cihaz ile kullanıcı ortamı koşulları (dinamik ağ koşulları) ve orijinal içerik formatından bağımsız bir şekilde, tatmin edici kullanıcı tercihleriyle multimedya içeriğine sınırsız erişim sağlamayı ve Deneyim Kalitesini (DK) (Quality of Experience – QoE) artırmayı amaçlar [2] [3]. Dolayısıyla bu konseptin etkinleştirilmesi için medya kaynaklarının kullanıcıların ihtiyaçlarına ve yeteneklerine göre uyarlanabilir ve esnek olmaları gerekir [2]. Şekil 1.1’de heterojen bir ağ üzerinde EME konsepti gösterilmektedir.

EME konsepti, Hareketli Görüntü Uzmanları Grubu (HGUG) (Moving Pictures Expert Group – MPEG) tarafından geliştirilen MPEG-21 standardı ile yakından ilgilidir. MPEG-21 standardı, multimedya veri içeriğinin yanı sıra kullanıcı taleplerini, multimedya verisinin oynatılacağı cihazın ve iletileceği ağın özelliklerini ve Sayısal Haklar Yönetimi (SHY) (Digital Rights Management – DRM) altyapısını dikkate alarak multimedya erişimi sağlanmasına yönelik bir standart olup video işaretlerinin

sıkıştırılmasını kapsayan bir standart değildir [4]. Dolayısıyla MPEG-21 standardı, EME konseptinin gerçekleştirilebilmesi için geliştirilmiş bir araçtır [5].



Şekil 1.1. EME konsepti [2]

Günümüzde internet ağı üzerinden en çok talep edilen ve en çok band genişliğine ihtiyaç duyulan veri tipi videolardır [6]. Özellikle YouTube, Dailymotion, Vimeo gibi video paylaşım platformları, Netflix, Amazon Prime, Hulu, Apple TV gibi isteğe bağlı yayıncılık hizmeti sunan çevrimiçi içerik servisleri ile video paylaşımına da imkân veren Facebook, Instagram, Flickr gibi sosyal paylaşım sitelerinin gün geçtikçe artan kullanımı, video içeriklerinin tüketiminin de bir hayli arttığını göstermektedir. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (UTB) (International Telecommunication Union – ITU) tarafından Eylül 2018’de ve Cisco tarafından 2019 yılında hazırlanan raporlara göre 2016 yılında internet trafiğinin %67’sini oluşturan IP (Internet Protocol) video trafiği, 2021 yılına kadar internet trafiğinin %80’ini, 2022 yılına kadar ise %82’sini oluşturacaktır [7] [8]. Ayrıca ortalama bir web sayfası için gerekli olan band

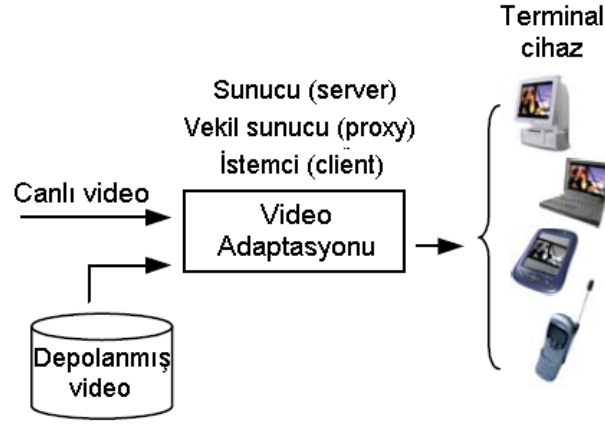
genişliği yaklaşık 320 kB/s iken Standard Definition (SD – 704x576) özünürlükte bir video için gerekli band genişliği yaklaşık 3 MB/s, High Definition (HD – 1920x1080) özünürlükte bir video için gerekli band genişliği ise 8 – 10 MB/s civarındadır [9]. Öte yandan günümüzde 4K (Ultra HD) özünürlükteki video içerikleri de yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu nedenle, heterojen ağlar üzerinden video erişiminin EME konseptine bağlı olarak sağlanması, sayısal video teknolojileriyle karşılanması gereken önemli bir ihtiyaçtır. Bu tezin de konusu olan video adaptasyonu, önemli bir EME uygulamasıdır [10].

1.2. Video Adaptasyonu

Video adaptasyonu basitçe bir video sunum şeklinin başka bir video sunum şekline dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir [5]. Ancak bu tanım çok kısıtlı olup video adaptasyonunun ne amaçla yapıldığına dair yeterli bilgi vermemektedir. Daha ayrıntılı olarak video adaptasyonunun, hâlihazırda kodlanmış bir video akışının yeni kaynak kısıtlamaları veya kullanıcı tercihleri ile uyuşacak şekilde şekillendirilmesi süreci olarak tanımlanması mümkündür [10]. Benzer şekilde video adaptasyonu; bir video sunum şeklinin, videonun iletimi, kodunun çözülmesi ve oynatılması için gerekli kaynak miktarını değiştirmek amacıyla, başka bir video sunum şekline dönüştürülmesi süreci olarak da tanımlanabilir [11]. Bundan başka video adaptasyonu; cihaz yetenekleri, ağ özellikleri ve kullanıcı tercihleri gibi belirli uygulama ihtiyaçlarını karşılamak için bir video akışını bir veya daha fazla işlemle dönüştürme mekanizması olarak da açıklanabilir [12].

Günümüzde işlemci hızı, depolama kapasitesi gibi farklı donanımsal özelliklere ve ekran boyutu gibi farklı fiziksel özelliklere sahip kişisel bilgisayar, akıllı televizyon, akıllı cep telefonu, tablet bilgisayar gibi terminal cihazlarla, farklı band hızı ve band genişliğine sahip ağlar üzerinden video içeriklerini izlemek isteyen tüketicilerin izledikleri videolardan memnuniyet duyabilmelerini sağlamak ve ağ kısıtlamalarıyla ilgili çözümler sunmak için video adaptasyonuna gösterilen ilgi artmaktadır. şekil

1.2’de video adaptasyonunun heterojen ağlar üzerinden video içeriğine erişimdeki rolü gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Heterojen ağlar üzerinde video adaptasyonu [13]

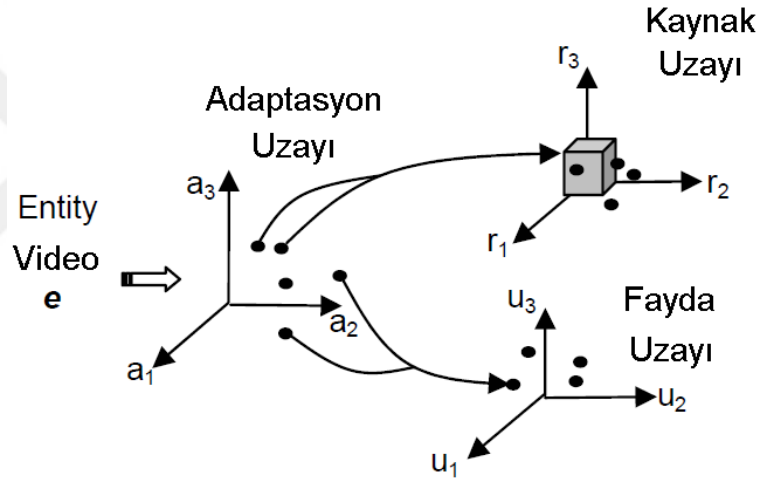
Şekil 1.3’te bir adaptasyon operatörünün modellenmesi gösterilmektedir. Bu modele göre adaptasyon operatörü, video adaptasyonu işlemlerindeki temel birim olup adaptasyon işlemine tabi tutulacak videonun yeniden şekillendirilmesini temin edecek bazı yöntemleri baz alarak işlem yapmaktadır. Burada adaptasyon sürecine tabi tutulacak video verileri (varlığı) e ile, adaptasyon süreci sonunda elde edilen video ise e' ile gösterilmektedir. Kaynak kısıtlamaları ise terminal cihazların veya ağların özelliklerine bağlı band genişliği, ekran znrlğ, renk derinliği gibi kısıtlamalardır.



Şekil 1.3. Video adaptasyonu işlemi

Bir video varlığına uygulanması mümkün olan adaptasyon işlemlerinin tamamı, bir adaptasyon uzayı oluşturur. Adaptasyon uzayının her bir boyutundaki koordinatlar, belirli adaptasyon işlemlerine karşılık gelir. Bununla birlikte kaynak kısıtlamaları ve

adaptasyon işlemleri sonucu alınan ölçümlerle belirlenen fayda değerleri de kendi içlerinde birer uzay oluştururlar. Şekil 1.4'te adaptasyon, kaynak ve fayda uzayları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Adaptasyon uzayındaki her bir nokta, girişteki video varlığını adapte edilmiş videoya dönüştüren bir fonksiyon olup her bir noktanın kaynak uzayında ve fayda uzayında tekabül ettiği bir nokta vardır. Bu durum, Şekil 1.4'te ok işaretleri ile gösterilmiştir. Aynı kaynak kısıtlamalarını karşılayan birbirinden farklı adaptasyon işlemleri olması mümkündür. Bununla birlikte farklı adaptasyon işlemleri sonucunda aynı fayda değerinin elde edilmesi de mümkündür. Adaptasyon işleminde amaç, verilen bir video varlığı (e) için belirli kaynak kısıtlamaları altında optimal adaptasyon işleminin bulunarak adapte edilmiş videodan (e') elde edilen faydanın maksimize edilmesidir [14].

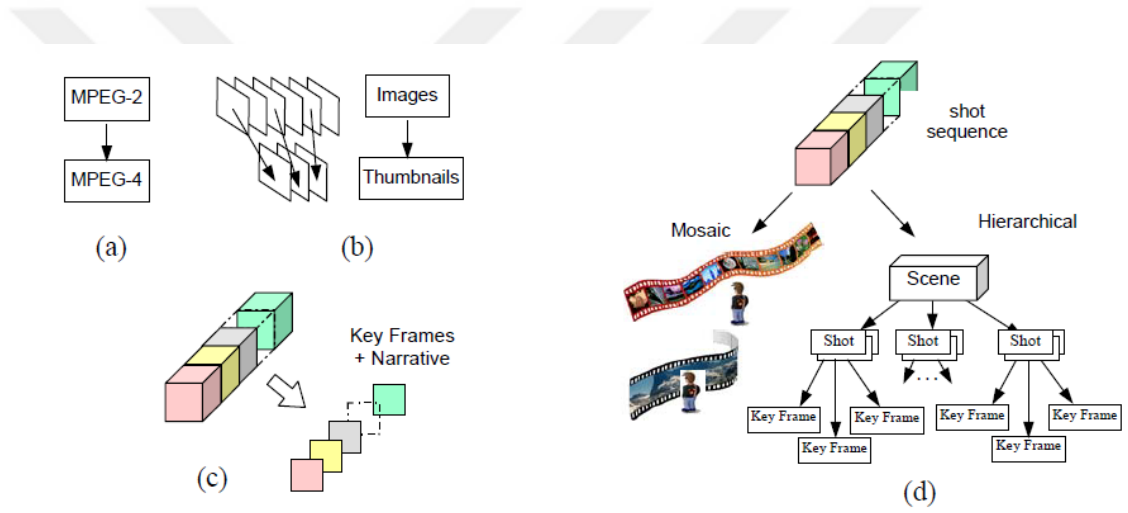


Şekil 1.4. Adaptasyon, kaynak ve fayda uzayları arasındaki ilişki [13]

Literatürde birçok video adaptasyonu işlemine yer verilmiştir. Video adaptasyonu işlemleri; format kodlamasını dönüştürme (format transcoding), seçme/eksiltme (selection/reduction), yerine koyma (replacement) ve sentezleme (synthesis) olarak sınıflandırılabilir [13]. Şekil 1.5'te video adaptasyonu işlemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.

Format kodlamasını dönüştürme (format transcoding): Geleneksel yayıncılık hizmetleri, internet ortamından yayıncılık hizmetleri ve tüketici elektroniği gibi farklı

alanlarda kullanılmak üzere farklı video formatları geliştirilmiştir. En temel adaptasyon işlemlerinden birisi, bir videonun mevcut formatını kullanım alanına göre uygun bir başka formata dönüştürmek veya videonun mevcut format parametrelerinde (bit hızı gibi) değişiklik yapılarak tekrar kodlanmasıdır. Format kodlaması dönüştürücülerin temel özelliği, hâlihazırda belli bir formata kodlanmış videolara erişim sağlayabilmeleri, ham video verilerine erişememeleridir. Bu nedenle format kodlaması dönüştürücülerin eriştiği verilerde bir hayli fazla miktarda nicemleme gürültüsü bulunmaktadır [5]. Şekil 1.5.a'da görüldüğü üzere format kodlamasının dönüştürülmesi işlemine örnek olarak MPEG-2 standardı ile kodlanmış bir videonun formatının MPEG-4 formatına dönüştürülmesi verilebilir.



Şekil 1.5. Video adaptasyonu işlemlerinin sınıflandırılması [13]

Seçme/Eksiltme (selection/reduction): Kaynakların kısıtlı olduğu durumlarda bazı kaynakları koruyabilmek adına video varlığının bazı bileşenlerinden vazgeçmek mümkündür. Çerçeve sayısının azaltılması, görüntülerdeki frekans bileşenlerinin azaltılması, bit hızı, çerçeve hızı ve çözünürlüğün değiştirilmesi format kodlaması dönüşümü olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu işlemlerin yapılması için öncelikle değiştirilecek bileşenin/bileşenlerin seçilmesi söz konusudur. Bazı uygulamalarda tek bir bileşende değişiklik yapmak yeterli olurken bazılarında ise farklı bileşenlerin önem durumuna göre birlikte değiştirilmesi gerekmektedir. Şekil 1.5.b'de bir videodan seçilen çerçevelerin çıkarılması işlemi görülmektedir [13].

Yerine koyma (replacement): Bu adaptasyon türünde algılanan faydanın korunması amaçlanırken video varlığında seçilen bileşenlerin daha önemsiz olan bileşenler karşılığında değiştirilmesi söz konusudur. Örneğin band genişliği gereksiniminin azaltılabilmesi için hareket bulunmayan çerçeveler video dizisinden çıkartılarak ve yalnızca orijinal videodaki önemli sahneleri temsil eden çerçeveler korunarak bir video sunumu hazırlanabilir. Şekil 1.5.c’de bir videonun anahtar çerçeveleriyle oluşturulan bir sunumu görülmektedir [13].

Sentez (synthesis): Bu adaptasyon türünde analiz sonuçlarına bağlı olarak yeni içerik sunumlarının sentezlenmesi söz konusudur. Örneğin bir video dizisindeki önemli bölümlere karşılık gelen anahtar çerçeveler, zamansal ayrıştırmaya veya anlamsal sınıflandırmaya bağlı bir hiyerarşik yapıyla düzenlenerek bir sunum hazırlanabilir. Şekil 1.5.d’de sentez yöntemiyle yapılmış bir video adaptasyonu görülmektedir. Bu yöntemde arka planda yer alan fazla bilginin iletilmesi söz konusu olmadığından sentezlenen video akışının iletilmesi, orijinal videonun iletilmesine göre daha az band genişliği gerektirmektedir [13].

1.2.1. Adaptasyon Kararının Alınması

Adaptasyon kararının alınması, adaptasyon işlemlerinin en önemli basamağıdır. Çevresel kısıtlamaları uygunlaştırırken adaptasyon işlemlerinde kullanılacak en uygun adaptasyon parametrelerini belirleme süreci olan adaptasyon kararı alma, video adaptasyonunun beyni olarak düşünülebilir [15].

Adaptasyon kararı alma teknikleri geliştirmek için literatürde bilgi tabanlı (knowledge-based) ve fayda tabanlı (utility-based) yaklaşım şeklinde iki farklı yaklaşım mevcuttur.

1.2.1.1. Bilgi Tabanlı Adaptasyon Kararı Alma Yaklaşımı

Video adaptasyonunda özellikle son kullanıcı cihazlarının içinde bulunduğu çevresel kısıtlamaların (ekran boyutu, bellek miktarı, işlemci hızı, ağ koşulları gibi) karşılanabilmesi amacıyla her bir kısıtlama için ayrı bir adaptasyon işlemi uygulanması gerekmektedir. Ancak adaptasyon işlemlerini gerçekleştirmek üzere geliştirilen mekanizmaların her bir kısıtlamaya has adaptasyon işlemlerini gerçekleştirebilecek kabiliyette olması mümkün değildir. Doğal olarak her bir kısıtlamaya has adaptasyon işlemlerini gerçekleştirecek farklı araçlara ihtiyaç vardır. Bu nedenle video varlıklarının çevresel kısıtlamalar dikkate alınarak adapte edilebilmesi için adaptasyon işlemlerini gerçekleştirecek farklı adaptasyon araçlarının birlikte çalışabilmesini sağlayacak bir planlama mekanizmasına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bilgi tabanlı adaptasyon kararı alma yaklaşımı, son kullanıcının video izleme deneyimini optimum seviyede karşılamak için adaptasyon işlemlerinin teknik olarak nasıl uygulandığından bağımsız olarak yalnızca farklı adaptasyon araçları arasında işbirliği sağlamayı konu almaktadır [16] [17] [18] [19] [20].

1.2.1.2. Fayda Tabanlı Adaptasyon Kararı Alma Yaklaşımı

Bir video varlığının, belirlenen kaynak kısıtlamaları karşılanacak şekilde adaptasyon işlemine tabi tutularak elde edilen adapte edilmiş videodan alınan kalite ölçümü veya izleyicinin duyduğu memnuniyet derecesi, faydalılık olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla fayda değeri, video içeriğinin kalitesini veya kullanıcının memnuniyetini göstermektedir [21]. Fayda, objektif yöntemler (örneğin en yüksek sinyal – gürültü oranı (PSNR)), subjektif yöntemler (öznel testler) ve her iki yöntemi de içeren kapsamlı yöntemlerle ölçülebilir [13]. Bir video varlığının adaptasyon işlemlerine maruz kaldıktan sonraki faydası, fayda tabanlı adaptasyon kararı alma yaklaşımı ile belirlenen bir Fayda Fonksiyonu (FF) (Utility Function – UF) ile ifade edilebilir [15]. Bu tez çalışmasında da kullanılan fayda tabanlı adaptasyon kararı alma yaklaşımı, adaptasyon kararı alma işleminin bir optimizasyon problemi olduğunu kabul ederek mümkün olan çözümler arasından en uygun çözümü bir FF kullanarak bulma yaklaşımıdır.

1.3. 3B Video

Bu tez kapsamında 3B videoların adaptasyonu gerçekleştirileceğinden bu bölümde 3B videolardan bahsedilmiştir.

1.3.1. 3B Videoların Oluşturulması

3B videoların oluşturulması üç farklı yöntemle gerçekleştirilir. Bu yöntemler sol ve sağ görüntülerin birleştirilmesi, 2B videoya DH eklenmesi ve 2B videonun 3B videoya dönüştürülmesidir. Bu yöntemler aşağıdaki şekildedir;

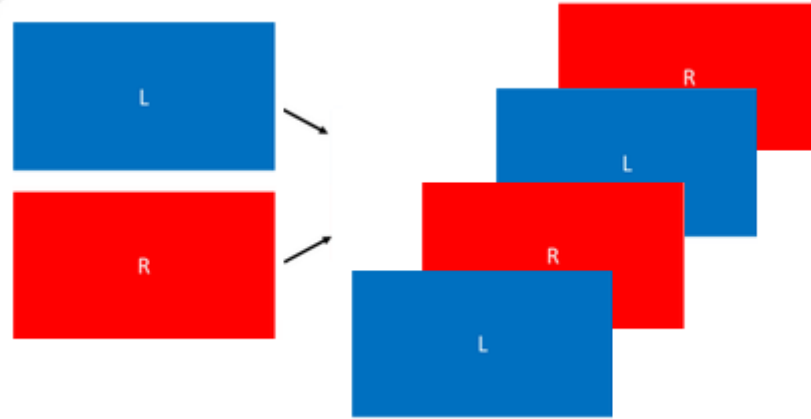
Sağ ve sol görüntülerin birleştirilmesi yöntemi, aralarında iki göz arasındaki mesafe kadar mesafe bulunan iki kameranın veya aralarında iki göz arasındaki mesafe kadar mesafe bulunan iki lense sahip bir kameranın aynı görüntüyü farklı açılar ile kaydetmesi ve kaydedilen bu görüntülerin izleyicinin her bir gözüne doğru sıra ve açıyla gelecek şekilde birleştirilmesi olarak açıklanabilir [22]. Bu yöntemde kullanılan görüntüleme sistemleri oldukça pahalı sistemlerdir.



Şekil 1.6. 3B görüntü kaydı: (a) İki kameralı sistem; (b) İki lensli kamera [23]

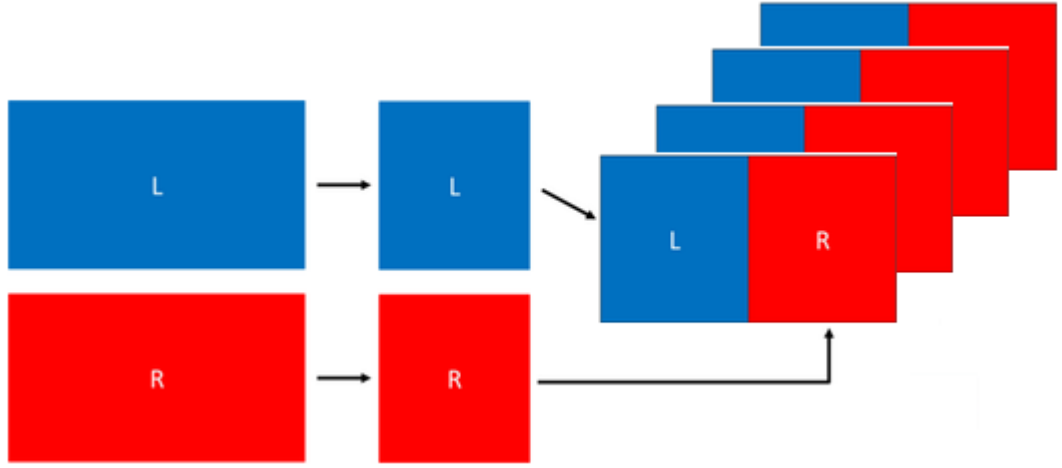
3B videolar oluşturulurken sol ve sağ görüntülerin birbirinden farklı yöntemlerle sıralanması mümkün olup bu yöntemlerin birbirinden farklı avantaj veya dezavantajları bulunmaktadır. Şekil 1.7.a'da görülen çerçeve sıralamalı (frame

sequential) yöntemde tek numaralı çerçeveler sol görüntülerden, çift numaralı çerçeveler ise sağ görüntülerden oluşmaktadır. Bu sıralama yönteminde her çerçevenin yatay ve düşey doğrultularda tam çözünürlüğe sahip olması nedeniyle daha fazla band genişliğine ihtiyaç duyulmaktadır. En yaygın sıralama yöntemi olan ve Şekil 1.7.b’de görülen yan yana (Side By Side - SBS) sıralamada her bir çerçevede sol ve sağ görüntüler çerçevenin sol ve sağ yarısına sığacak şekilde yerleştirilmiş olup her bir görüntü için yatay doğrultuda yarı çözünürlük ile kayıt oluşturulmaktadır. Şekil 1.7.c’de görülen birbirine geçmeli (interlaced) sıralama yönteminde tek numaralı satırlar görüntüyü bir göz için saklarken çift numaralı satırlar görüntüyü diğer göz için saklarlar. Bu nedenle her bir çerçeve yatay doğrultuda tam çözünürlüğe sahipken düşey doğrultuda yarı çözünürlüğe sahiptir. Şekil 1.7.ç’de görülen üst/alt (over/under) sıralama yönteminde ise sol görüntü çerçevenin üst yarısında, sağ görüntü çerçevenin alt yarısında olacak şekilde üst üste yığılmış bir sıralama türü söz konusudur. Üst/alt sıralamada da her bir çerçeve yatay doğrultuda tam çözünürlüğe sahipken düşey doğrultuda yarı çözünürlüğe sahiptir [24].

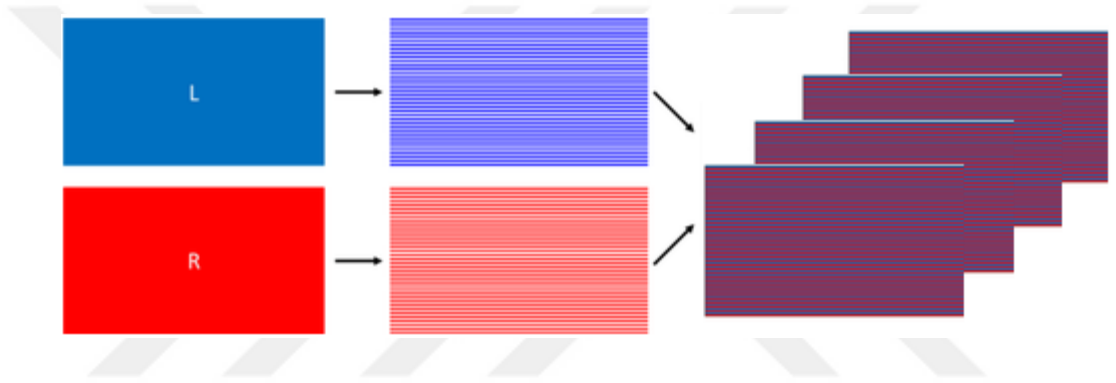


(a)

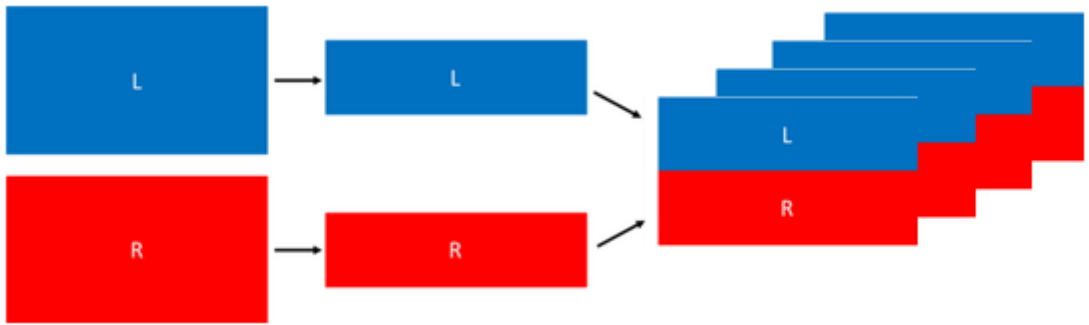
Şekil 1.7. 3B video oluşturma yöntemleri: (a) Çerçeve sıralamalı yöntem [24]



(b)



(c)



(ç)

Şekil 1.7. (devamı) (b) Yan yana sıralama yöntemi; (c) Birbirine geçmeli sıralama yöntemi; (ç) Üst/alt sıralama yöntemi [24]

2B videoya DH eklenmesi yöntemi, 2B renkli video ve bu videoya ait derinlik kamerası ile elde edilmiş DH'nin senkronize bir şekilde birleştirilmesi işlemidir [22]. Bir DH, x

ve y mesafe bilgilerinin sıradan bir görüntüdeki gibi dizinin satırlarına ve sütunlarına karşılık geldiği ve ilgili derinlik okumalarının (z değerleri) dizinin öğelerinde (piksellerde) depolandığı iki boyutlu bir dizidir [25]. Bir başka deyişle DH, sahnedeki 3B nokta ile kamera arasındaki mesafeyi temsil eden bir derinlik değerinin piksellere atandığı gri tonlamalı bir görüntüdür [26]. Genellikle z değerleri, 8 bitlik gri değerler olarak kodlanır ve 0 gri değeri kameradan en uzak konumu belirtmek için kullanılırken 255 gri değeri kameraya en yakın konumu belirtmek için kullanılır. DH dizileri genellikle ilişkili oldukları renkli görüntü dizisi ile benzer uzamsal-zamansal çözünürlüğe sahiptir. DH kalitesi başarılı bir 3B görüntüleme için anahtar faktördür [27]. Şekil 1.8’de bir 2B renkli video ve ilişkili DH ile elde edilen 3B videonun anlık görüntüleri görülmektedir.



Şekil 1.8. 2B video ve DH ile 3B video oluşturulması [28]

2B videoya DH eklenmesi yöntemi, kodlama, iletim ve sıkıştırma teknolojileri ile uyumluluğu nedeniyle sağ ve sol görüntülerin birleştirilmesi yöntemiyle oluşturulan 3B videolara göre daha fazla tercih edilmektedir [22]. Bununla birlikte bu yöntemin diğer avantajları, 2B video akışının eski cihazlar ile uyumlu çalışabilmesi, hem 2B videonun hem de derinlik akışlarının temel kodlama formatlarından bağımsız olması ve Derinlik Görüntüsü Tabanlı Derleme (DGTD) (Depth Image-Based Rendering – DIBR) gibi ileri stereoskopik görüntü işleme tekniklerini desteklemesidir [26].

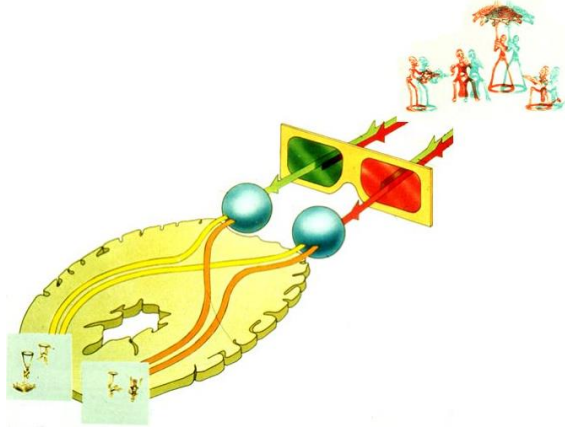
2B videonun 3B videoya dönüştürülmesi yöntemi ise 2B videonun gelişmiş yazılım teknolojileriyle 3B videoya dönüştürülmesi yöntemidir [22]. Bu yöntem de kendi içerisinde manuel dönüştürme, insan yardımıyla dönüştürme ve otomatik dönüştürme olmak üzere üçe ayrılır. Manuel dönüştürmede kaynak videonun her bir çerçevesinin incelenerek derinlik bilgilerinin sahnelere manuel olarak atanması söz konusudur. Bu yöntem, oldukça zaman alıcıdır. İnsan yardımıyla dönüştürme, yarı otomatik bir dönüştürme yöntemi olup birinci aşamasında nesnelerin gerçek derinliğinin derinlik bulanıklığı, renk gradyanları, doku örtüşmesi gibi monoküler ipuçları dikkate alınarak 2B gösterimden tahmin edilmesi, ikinci aşamasında ise 3B görüntülerin oluşturulması söz konusudur. Otomatik dönüştürmede ise orijinal videodaki çerçeveler dizisinin analiz edilerek hareket paralaksının hesaplanması söz konusudur [29].

1.3.2. 3B Videoların Görüntülenmesi

3B videolar her bir göz için ayrı bir video kanalı içermekte olup 3B videonun görülebilmesi için sağ video görüntüsünün yalnızca sağ göz tarafından, sol video görüntüsünün ise yalnızca sol göz tarafından algılanmasının sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla farklı tekniklere göre çalışan özel olarak tasarlanmış gözlükler kullanılmakla birlikte son yıllarda teknolojik gelişmeler doğrultusunda gözlüksüz 3B video izleme imkânı da elde edilmiştir.

1.3.2.1. Anagram Görüntüleme Tekniği

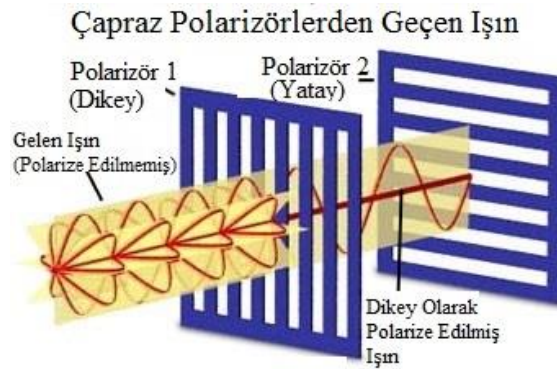
3B video izlemek için geliştirilmiş en eski teknik anagram görüntü tekniğidir. Şekil 1.9'da görüldüğü üzere bu tekniğe göre izleyicilerin kullanacakları mavi – kırmızı renkli gözlükler ile mavi ve kırmızı tonlara dönüştürülmüş sağ ve sol videoların renk tonuna göre filtrelenerek görülmesinin engellenmesi söz konusudur. Gözlüğün mavi renkli camı kırmızı tondaki sol videonun filtrelenerek sol göze ulaşmasını, gözlüğün kırmızı camı ise mavi tondaki sağ videonun filtrelenerek sağ göze ulaşmasını engellemektedir. Anagram görüntüleme tekniği her ne kadar uygulanması basit bir teknik olsa da görüntü kalitesinin oldukça düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 1.9. Anagram görüntüleme tekniği [30]

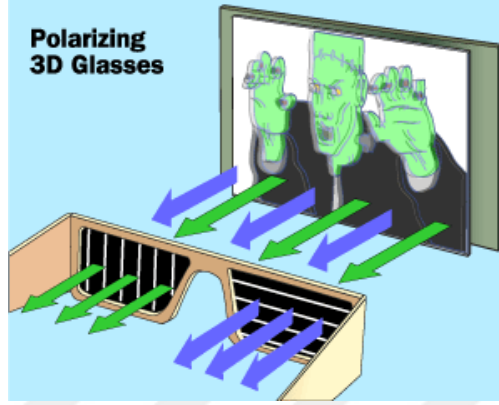
1.3.2.2. Polarize (Pasif) Görüntüleme Tekniği

Elektromanyetik dalgalar düzlemde farklı yönlerde salınımlar yaparak ilerlemektedir. Polarizasyon, bir elektromanyetik dalga olan ışığın düzlemde tek yönde salınım yapacak şekilde kutuplaştırılmasıdır. Buna göre ışık dalgası; doğrusal, dairesel veya eliptik salınımlar yaparak ilerleyecek şekilde kutuplaştırılabilir. Örneğin Şekil 1.10'da görüldüğü gibi farklı yönlerde salınımlar yapan bir ışık demeti, düşey yönlü bir polarizöre yönlendirildiğinde düşey olarak kutuplanmış bir ışık dalgası elde edilir. Düşey yönlü kutuplanmış ışık dalgasının düşey yönlü olmayan bir polarizörden (örneğin yatay yönlü bir polarizörden) geçmesi mümkün değildir.



Şekil 1.10. Polarizasyon işlemi [31]

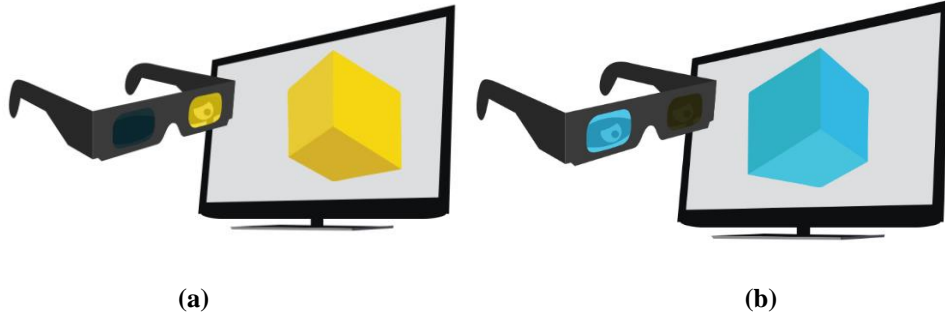
Işığın bu özelliği kullanılarak geliştirilen doğrusal veya dairesel kutuplamalı gözlükler ile 3B videoların görüntülenmesi mümkündür. Buna göre doğrusal kutuplanmış 3B videolar doğrusal kutuplanmış gözlükler kullanılarak, dairesel kutuplanmış 3B videolar ise dairesel kutuplanmış gözlükler kullanılarak izleyici tarafından seyredilebilir. Şekil 1.11’de polarize görüntüleme tekniği görülmektedir.



Şekil 1.11. 3B videoların polarize görüntüleme tekniği ile görüntülenmesi [32]

1.3.2.3. Aktif (Shuttered) Görüntüleme Tekniği

Bu teknikte sağ ve sol video görüntülerinin diğer tekniklerdeki gibi birbirinin üzerine bindirilmesi söz konusu olmayıp birbiri ardına oldukça hızlı bir biçimde akan sağ ve sol videolar izleyicinin kullandığı aktif gözlük ile ilgili göze iletilir. Şekil 1.12’de de görüldüğü gibi “shuttered” gözlük soldan görüntü alınca sağ taraf, sağdan görüntü alınca sol taraf karartılır [22]. Bu teknikte kullanılan gözlük ile ekran birbiri ile eş zamanlı çalışmaktadır.

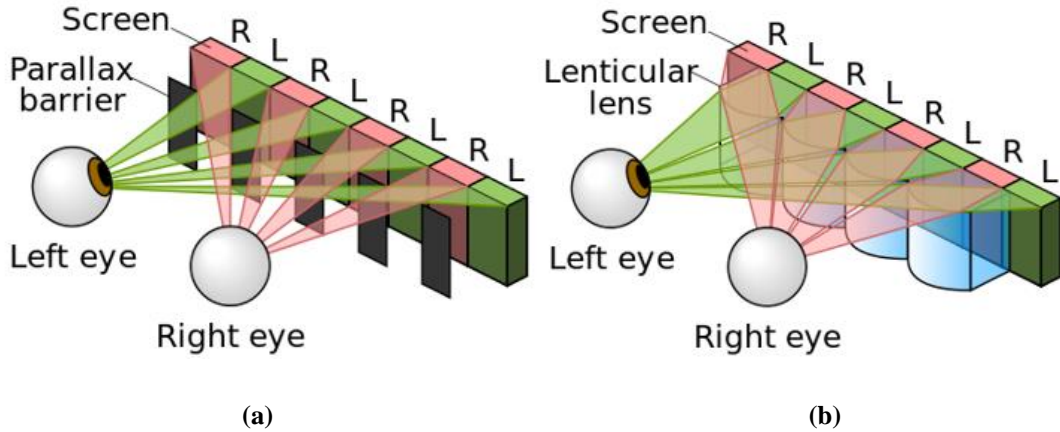


Şekil 1.12. 3B videonun aktif görüntüleme tekniğiyle görüntülenmesi; (a) Sağ gözün karartılması; (b) Sol gözün karartılması [33]

1.3.2.4. Gözlüksüz Görüntüleme Tekniği

3B videolar açıklanan tekniklere göre tasarlanmış gözlükler vasıtasıyla izlenebilmektedir. Ancak bazı araştırmalar kullanıcıların gözlerinin üzerini kaplayan bir teçhizat veya içinde buldukları ortamın genelini net görmesini engelleyen herhangi bir şeyi kullanmayı sevmeme eğiliminde olduklarını göstermektedir [34]. Bu nedenle izleyicilerin 3B video izleme deneyiminin artırılması ve tercih edilir hale gelmesi, 3B gözlüklerin kullanımının zahmetli ve maliyetinin yüksek olması, 3B videonun yapımcılar arasında yaygınlaştırılması, 3B videonun ticari olarak sürdürülebilir olması için 3B videoların gözlüksüz izlenebilmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla teknoloji şirketleri tarafından otostereoskopik ekranlar üretilmiştir.

Otostereoskopik ekranlar, bir ekrana (örneğin LCD) yerleştirilen paralaks bariyerleri, merceksel lensler, mikropolarizörler ve holografik elemanlar ile elde edilirler [35]. Şekil 1.13'te paralaks bariyerli ve merceksel lensli otostereoskopik ekranlar görülmektedir.



Şekil 1.13.a. Otostereoskopik ekranlar: (a) Paralaks bariyerli; (b) Merceksel lensli [36]

Otostereoskopik ekranlar, 3B video izlemek için tasarlanmış bir gözlüğe ihtiyaç olmadan sol ve sağ göz için alınan perspektif görüntülerin doğru göze gönderilmesini sağlamaktadır [35]. Buna göre izleyiciler, sabit bir noktadan ekrana baktıklarında

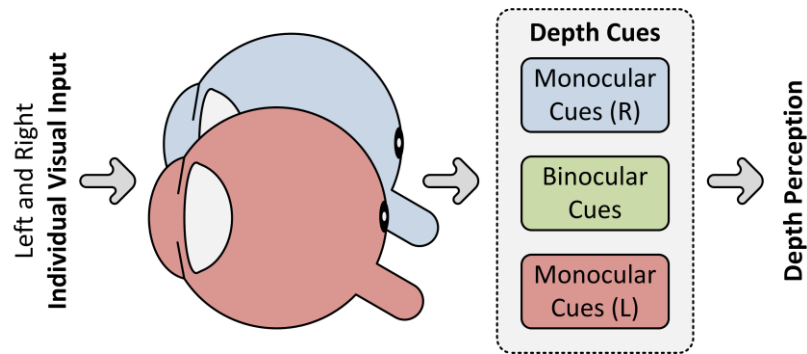
gözlerinden biri ekran önüne yerleştirilmiş lens dizisi arasından yalnızca çift sayılı ekran piksellerini görürken diğer göz yalnızca tek sayılı ekran piksellerini görebilmektedir [37].

Çok yüksek çözünürlük, çok iyi derinlik performansı ve farklı görüntüleme açılarından farklı izleme deneyimleri sunan otostereoskopik ekranların en önemli dezavantajları, izleyicinin sabit bir konumdan ve olabildiğince az hareket ederek ekrana bakması gerekmesi ve her bir gözün yatay ekran çözünürlüğünün yarısını görebilmesidir.

1.4. Derinlik Algısını Etkileyen Unsurlar

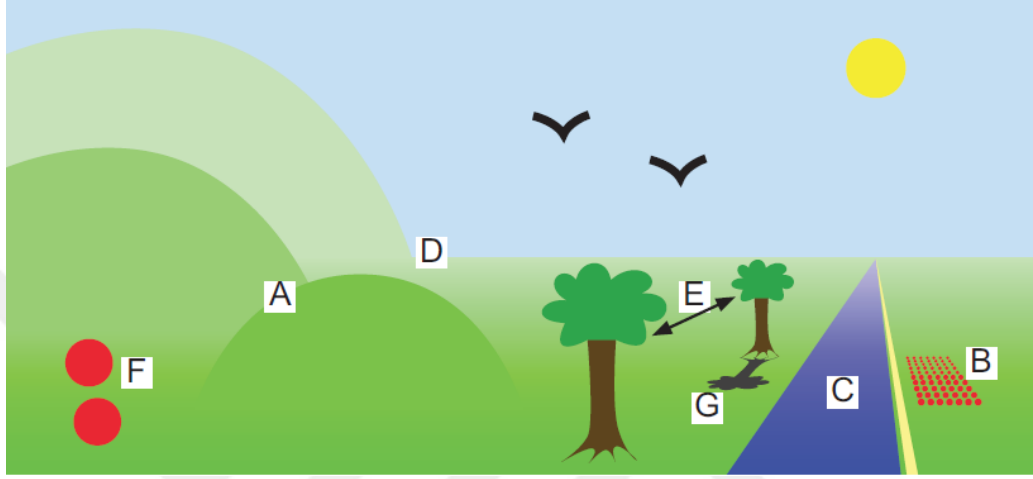
3B video oluşturma yöntemlerinin her birisi, 3B video izlerken izleyicideki derinlik algısını arttırmayı ve izleyiciye aynı ortamda olma hissini yaşatmayı amaçlamaktadır. Ancak bu amaçlar doğrultusunda derinlik algısını etkileyen unsurların etkili bir biçimde kullanılması gerekmektedir.

Derinlik algısını etkileyen unsurlar temel olarak monoküler ve binoküler ipuçları olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Monoküler ipuçları, tek gözle derinlik algılamayı sağlarken binoküler ipuçları, iki gözün birlikte derinlik algılamasını sağlamaktadır. İnsan Görme Sistemi (İGS), sağ ve sol gözün ayrı ayrı elde ettiği monoküler ipuçlarını ve iki gözün birlikte elde ettiği binoküler ipuçlarını bir araya getirerek stereoskopik görüş elde edilmesini sağlar. Şekil 1.14'te stereoskopik görüşün elde edilişi görülmektedir.



Şekil 1.14. Stereoskopik görüş [38]

Monoküler ipuçları; önceden bilinen boyut bilgisi, bulanıklık, örtüşme (overlapping, occlusion, interposition), lineer perspektif, hareket paralaksı, doku gradyanı (texture gradient), gölge, atmosferik perspektif, göreceli yükseklik, ağ katmansal görüntü boyutu şeklinde sıralanabilir. Şekil 1.15'te bazı monoküler ipuçları görülmektedir. Binoküler ipucu ise stereopsis (ağ katmansal eşitsizlik) olarak açıklanabilir.



Şekil 1.15. Monoküler ipuçları: (A) örtüşme, (B) doku gradyanı, (C) lineer perspektif, (D) atmosferik perspektif, (E) göreceli boyut, (F) göreceli yükseklik, (G) gölge [39]

1.5. 3B Video Adaptasyonu

3B videoların derinlik bilgileri içermeleri nedeniyle 3B video adaptasyonunda standart video adaptasyonundan farklı olarak derinlik bilgilerinin de dikkate alınarak adaptasyon işlemlerinin uygulanması gerekmektedir. Fayda tabanlı adaptasyon kararı alma yaklaşımının kullanıldığı 3B video adaptasyonunda 3B videodan elde edilecek monoküler ve binoküler ipuçlarının adaptasyon işlemine tabi tutulması, adaptasyon işlemi sonucunda daha fazla fayda elde edilmesini sağlayacaktır. Ancak derinlik algısını etkileyen monoküler ve binoküler ipuçlarının birtakım işlemler sonucunda işlenebilir parametreler haline getirilmesi gerekmektedir. Ancak ve ancak işlenebilir hale getirilmiş monoküler ve binoküler ipuçlarının FF'de yer alması mümkündür. Bu tez çalışmasında FF oluşturmak için korelasyon analizi yöntemi kullanılmıştır.

1.6. Korelasyon Analizi

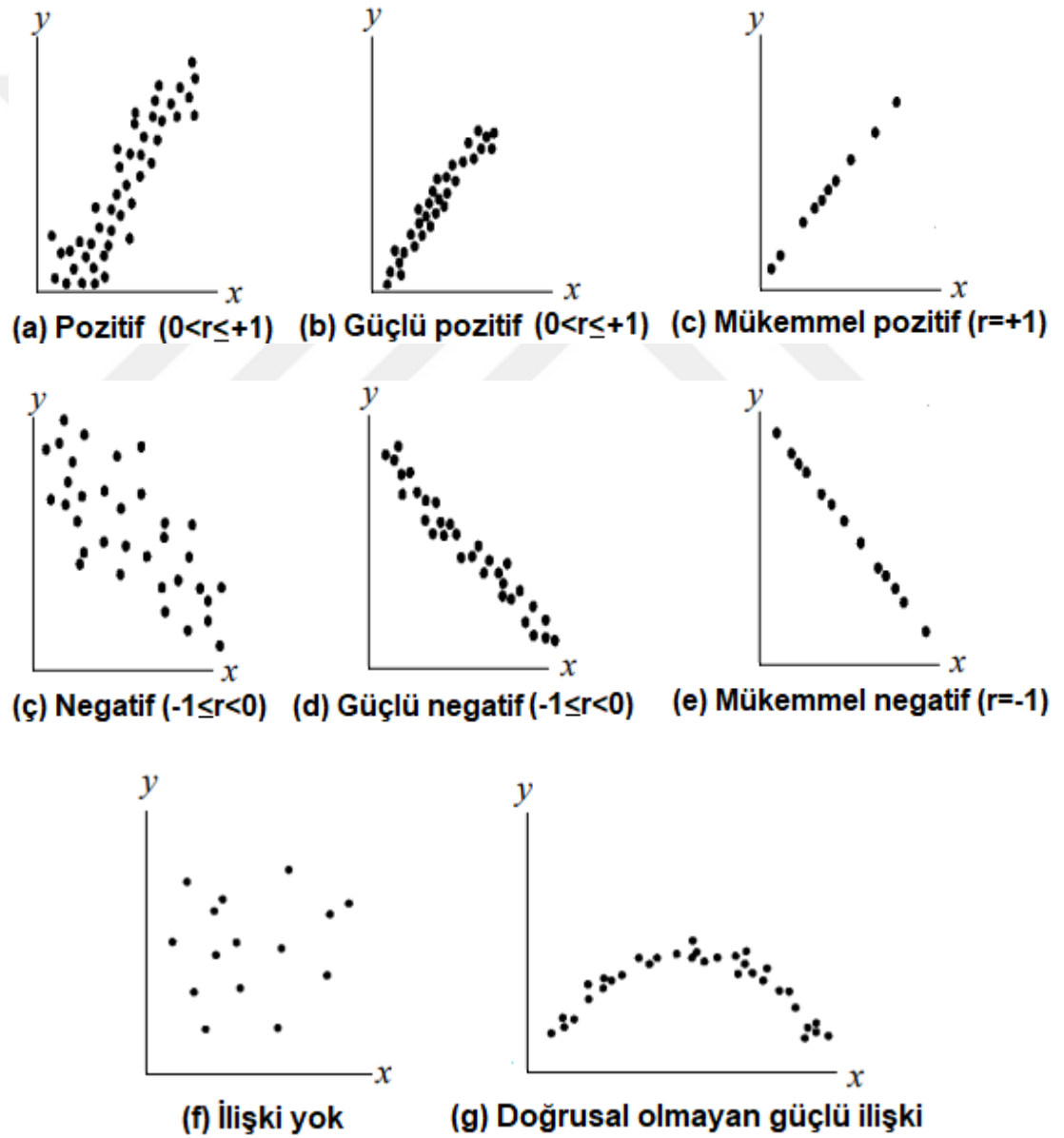
Korelasyon, bir değişkenin değeri değişirken diğer bir değişkenin bununla doğrusal ilişkili olarak değişimini ifade eder.

Korelasyon analizi, iki veya daha çok değişken arasında, değişkenlerin bağımlı veya bağımsız olması dikkate alınmaksızın, bir ilişki bulunup bulunmadığı ve eğer varsa bu ilişkin yönünün ve şiddetinin saptanmasını sağlayan istatistiksel bir çözümdür.

Korelasyon analizinin en çok kullanılan yöntemleri Pearson ve Spearman (sıralama) yöntemleridir. Farklı durumlar için farklı korelasyon analizleri yapılır. Değişkenler oransal veya aralıklı ölçek ile elde edilmiş ve normal dağılıma uygunluk gösteriyorsa Pearson korelasyon analizi, değişkenler oransal veya aralıklı ölçek ile elde edilmiş ancak normal dağılıma uygunluk göstermiyorsa Spearman korelasyon analizi yapılır. Ayrıca değişkenlerin sıralı ölçekle elde edilmiş olması halinde de Spearman korelasyon analizi uygulanabilir [40]. Korelasyon katsayısı ile belirlenen ya da ölçülen şey, söz konusu değişkenler arasındaki doğrusal ilişkidir. Eğer değişkenler arasındaki ilişki doğrusal değil ise hesaplanan korelasyon katsayısı değişkenler arasındaki ilişkiyi ölçmek için uygun bir yöntem değildir [41] [42].

Korelasyon analizi sonucunda değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını ve varsa bu ilişkinin derecesini gösteren bir korelasyon katsayısı hesaplanır. Korelasyon katsayısı r ile ifade edilir ve “-1” ile “+1” arasında değer alır ($-1 \leq r \leq +1$). Burada değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyini korelasyon katsayısının mutlak değeri, yönünü ise korelasyon katsayısının pozitif veya negatif olmasını sağlayan “-” ve “+” işaretleri belirler. Korelasyon katsayısının “+1” olması değişkenler arasında doğru yönlü tam bir ilişkiyi gösterirken bir değişken hangi oranda arttı veya azaldıysa diğer değişkenin de aynı oranda artması veya azalması anlamına gelir. Korelasyon katsayısının pozitif olması, bir değişkene ilişkin verilerin artması durumunda diğerinin de artması veya bir değişkene ilişkin verilerin azalması durumunda diğerinin de azalması anlamına gelir ve değişkenler arasında doğru yönlü bir ilişki olduğu şeklinde

yorumlanır. Korelasyon katsayısının “-1” olması değişkenler arasında ters yönlü tam bir ilişkinin olduğunu gösterirken bir değişken hangi oranda arttı ise diğer değişken de aynı oranda azalması anlamına demektir. Korelasyon katsayısının negatif olması ise bir değişkene ilişkin verilerin artması durumunda diğerinin azalması veya bir değişkene ilişkin verilerin azalması durumunda diğerinin artması anlamına gelir ve değişkenler arasında ters yönlü bir ilişki olduğu şeklinde yorumlanır. Korelasyon katsayısının “0” olması durumunda ise değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin söz konusu olmadığı anlaşılır. Şekil 1.16’da korelasyon tipleri görülmektedir [43].



Şekil 1.16. Korelasyon tipleri [43]

Korelasyon analizi, kovaryans kavramı ile doğrudan ilgilidir. Kovaryans, birlikte değişim anlamına gelmekte olup değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü analiz etmek için kullanılır. “+”, “-” veya “0” olabilir. Kovaryans değerinin büyüklüğü ise önemli değildir. Buna göre kovaryans değeri pozitif çıkarsa değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu ve aynı yönde hareket ettikleri, negatif çıkarsa değişkenler arasında negatif bir ilişki olduğu ve ters yönde hareket ettikleri anlaşılır [44] [45]. Kovaryans formülü aşağıdaki şekildedir;

$$cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (1.1)$$

Burada $cov(x, y)$, x ve y değişkenleri arasındaki kovaryansı; \bar{x} , x değişkenlerinin ortalamasını ve \bar{y} , y değişkenlerinin ortalamasını ifade etmektedir.

Bu tez çalışmasında da kullanılan Pearson korelasyon analizi yöntemine göre iki değişkenin kovaryansının yine bu değişkenlerin standart sapmalarının çarpımına bölünmesiyle korelasyon katsayısı elde edilir [45]. Buna göre korelasyon katsayısının formülü aşağıdaki şekildedir;

$$r = \frac{cov_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sqrt{(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n})} \sqrt{(\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n})}} \quad (1.2)$$

Burada r korelasyon katsayısı, s_x ve s_y ise sırasıyla x ve y değişkenlerinin standart sapma değerleridir. Pearson yöntemiyle hesaplanan korelasyon katsayısının aşağıdaki şekilde yorumlanması mümkündür [46];

Çizelge 1.1. Korelasyon katsayılarının yorumlanması [46]

Korelasyon Katsayısı (r)	İlişki Düzeyi
0,00	İlişki yok
0,01 – 0,29	Düşük düzeyde ilişki
0,30 – 0,70	Orta düzeyde ilişki
0,71 – 0,99	Yüksek düzeyde ilişki
1,00	Mükemmel ilişki

2. LİTERATÜRDEKİ VİDEO ADAPTASYONU ÇALIŞMALARI

Literatürde farklı yaklaşımlar doğrultusunda hazırlanan video adaptasyonu çalışmaları mevcuttur. Ancak bu tez çalışmasının da kapsamında olan fayda tabanlı adaptasyon kararı alma yaklaşımı daha yaygın görülmektedir.

2B videolar için fayda tabanlı yaklaşım doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalarda genel olarak bit hızı, çerçeve hızı, uzamsal çözünürlük, Nicemleme Parametresi (NP) gibi bazı uzamsal veya zamansal parametrelerin ve band genişliği, ekran çözünürlüğü, görüntüleme ortamı koşulları (ortam aydınlatması, görüntüleme oranı) gibi bazı kısıtlamaların dikkate alınarak FF'ler tasarlandığı görülmektedir.

3B videolarda ise 2B videolardan farklı olarak algılanmasında izleyiciden izleyiciye farklılık görülebilen derinlik bilgileri de söz konusu olmaktadır. Bu nedenle klasik video adaptasyonuna göre 3B video adaptasyonunda derinlik bilgilerinin dikkate alınarak adaptasyon sürecinin sürdürülmesi gerekmektedir.

Gelişen 3B video ve iletişim teknolojilerinin de yardımıyla 3B video adaptasyonu günümüzde önemli araştırma alanlarından birisi haline gelmiştir. Ancak literatürde 3B video adaptasyonu ile diğer 3B video alanlarına kıyasla daha az sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatürdeki video adaptasyonu çalışmalarından bazıları şunlardır;

Bocheck vd. (1999) tarafından yayınlanan çalışmada, gerçek zamanlı video uygulamalarında kullanılmak üzere yalnızca band genişliğinin dikkate alındığı bir FF önerilmektedir. Bu çalışmada video dizilerinden çıkarılan görsel özelliklere bağlı içerik sınıflandırma tekniklerinin ve fayda fonksiyonlarının sınıflandırılması için makine öğrenme tekniklerinin kullanılması, gerçek zamanlı performansın elde edilmesini sağlamaktadır [47].

Chang (2002) tarafından yayınlanan çalışmada, video varlığı, adaptasyon uzayı, kaynak uzayı ve çok boyutlu fayda uzayı ile bunlar arasındaki ilişkiyi açıkça

modelleyen fayda tabanlı bir kavramsal çerçevenin geliştirildiği, geliştirilen bu çerçevenin amacının belirli bir video içeriği için maksimum kaliteye ulaşmak amacıyla kaynak kısıtlamalarını karşılayan en uygun adaptasyon işlemlerini bulmak olduğu, bu bağlamda geliştirilen çerçevenin farklı adaptasyon teknikleri (video skimming, çerçeve düşürme vb.) ve kısıtlamalar (ağ band genişliği, ekran çözünürlüğü vb.) altında denenerek bunlar arasındaki ilişkinin modellendiği ifade edilmektedir [14].

Kim vd. (2003) tarafından yayınlanan çalışmada MPEG – 21 standardında 3B stereoskopik video dönüşümünde yararlanılabilecek tanımlamalar sunularak kullanıcı karakteristiklerine ve terminal cihaz yeteneklerine işlevsellik kazandırılmıştır. Özellikle kullanıcıların ekran tercihleri 2B/3B ve 3B/2B dönüşümleri için önem arz etmektedir. Bu çalışmada ayrıca paralaks tipinin, derinlik alanının ve gecikmiş bir çerçevenin maksimum süresinin 3B derinlik algılama üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen tanımlamaların doğru çalıştığını göstermektedir. Bununla birlikte önerilen tanımlamaların, kullanıcıların 3B stereoskopik adaptasyonunu temsil etmenin yanı sıra onlara verimli 3B stereoskopik görüntüleme sağlamak için de kullanışlı olduğu ifade edilmektedir [48].

Mukherjee vd. (2005) tarafından yayınlanan ve Digital Item Adaptation (DIA) başlıklı MPEG – 21 Part 7 standardına ilişkin açıklamalara da yer verilen çalışmada, adaptasyon kararı alma probleminin adaptasyon değişkenlerine bağlı bir optimizasyon problemi olarak kabul edilerek terminal cihaz, ağ ve kullanıcı tercihlerine bağlı kısıtlamalara dayalı evrensel karar alma motorlarının oluşturulmasını sağlanabileceği açıklanarak adaptasyon kararı alma işlemlerinde video içerik karakteristiklerine bakmaksızın yalnızca video içeriğinin bit hızının dikkate alındığı bir FF'nin kullanıldığı bir adaptasyon çalışmasına yer verilmiştir [49].

Onur ve Alatan (2005) tarafından yayınlanan çalışmada, kaynak sınırlamaları bulunan cihazlarda kullanıcı tatminini modelleyen çalışmalara ek olarak iletim kanalı kapasitesi de dikkate alınmıştır. Tasarlanan FF'de bit hızı, uzamsal çözünürlük, video içeriklerinin netliği, ekran boyutu ve işlemci hızı gibi terminal cihaz özellikleri ve

iletim kanalı kapasitesi göz önünde bulundurulurken video içeriği karakteristiklerine yer verilmemiştir [50].

Wang vd. (2007) tarafından yayınlanan çalışmada, birçok adaptasyon işlemi arasından optimum adaptasyon işleminin sistematik olarak seçilmesi yerine önceden seçilmiş adaptasyon işlemlerinin optimize edilmesi yaklaşımının mevcut adaptasyon tekniklerinin ortak problemi olduğunu ifade ederek fayda tabanlı bir adaptasyon önerisi sunulmaktadır. Kullanılan FF ile adaptasyon sürecinin temel konseptleri – adaptasyon, kaynak ve fayda – modellenmiştir. Adaptasyon işlemlerinde çerçeve hızı ve uzamsal çözünürlük parametreleri dikkate alınmıştır. Hesap karmaşıklığı sorununun önüne geçmek ve gerçek zamanlı adaptasyon senaryosunu desteklemek için otomatik içerik özelliği çıkarımı ile kümeleme ve sınıflandırma üzerinde regresyon yöntemi kullanarak genel bir içerik tabanlı FF verilmiştir. MPEG – 4 formatlı videolar üzerindeki görüntü ve katsayı ekleyerek kodlamanın farklı video içerikleri için de kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar verdiği ifade edilmektedir. [51].

Kopf ve Effelsberg (2007) tarafından yayınlanan çalışmada, videoların yalnızca sınırlı sayıda farklı rengi destekleyen mobil cihazlarda oynatılmasını kolaylaştırmak amacıyla video renk derinliği adaptasyonu ele alınmıştır. Renk değerlerine uygun bir haritalama tanımlamak için kümülatif histogram kullanılmıştır ve her bir video kaydı için parlaklık değerleri kümelenecek bu yaklaşım geliştirilmiştir [52].

Prangl vd.(2007) tarafından yayınlanan çalışma, bir semantik tabanlı görsel – işitsel fayda modeline odaklanmaktadır. Bu çalışmada, adaptasyon modelini kullanıcının kararlarına, favori içerik türlerine ve demografik yapısına göre düzenleyen daha verimli ve kişiselleştirilmiş bir yapı kullanılmıştır. Adaptasyon kararı almada algısal kalite bilgileri ve semantik kalite tahmini kullanılmıştır. Uzamsal çözünürlük, çerçeve hızı ve NP arasındaki ilişkiye dayanan bir FF tasarlanmıştır. Her bir kullanıcı için FF ağırlıklarını ayrı ayrı belirlemek amacıyla her bir kullanıcıdan gelen geribildirimleri muhafaza edilmektedir. Ayrıca toplam fayda, ses ve video modaliteleri için ayrı ayrı hesaplanan faydaların bir fonksiyonu olarak modellenmiştir [53].

Onur ve Alatan (2007) tarafından yayınlanan çalışmada, zamansal ve uzamsal çözünürlüğü birlikte modellemeye dayanan bir FF önerilmiştir. Çalışmada farklı içerik karakteristiklerine sahip videolar (yüksek/düşük hareket etkinliği, yüksek/düşük detay) ve farklı donanımsal özelliklere sahip cihazlar kullanılmıştır. Tasarlanan FF'de çerçeve hızı ve uzamsal çözünürlük parametreleri dikkate alınmıştır [54].

Sofokleous ve Angelides (2008) tarafından yayınlanan çalışmada MPEG – 21 Dinamik İçerik Adaptasyonu Çerçevesi (DİAÇ) (Dynamic Content Adaptation Framework – DCAF) olarak adlandırılan, ağırlıkların insandan bağımsız olarak ayarlanabilmesi için genetik algoritmalar optimizasyon yöntemi ile güçlü Pareto optimumundan faydalanılarak içerik adaptasyonunun gerçekleştirildiği bir model önermektedir. Dört katmanlı bir yapı olan DİAÇ, önceden tanımlanmış kullanım ortamı gereksinimlerini ve içerik kısıtlamalarını referans olarak adaptasyon parametrelerini seçen ve içeriğin dinamik olarak adaptasyonunu sağlayan bir fayda tabanlı adaptasyon kararı alma tekniği içerir [55].

Kim ve Yoon (2008) tarafından yayınlanan çalışmada video içeriği madenciliğine dayalı kişiselleştirilmiş bir video adaptasyonu modeli önerilmiştir. Video içeriği madenciliğinin bilişsel ve duygusal içeriği hedeflediği belirtilen çalışmada, izleyicilerin bazen duygusal kararlar doğrultusunda video içeriği seçmesi nedeniyle kişiselleştirilmiş içeriklerin izleyiciye mümkün olan en iyi deneyimi sağlayacak nitelikte olması gerektiği belirtilmektedir. Bu çalışmada kişiselleştirilmiş içerik için MPEG – 7 standardındaki ve MPEG -21 multimedya çerçevesindeki tanımlamaları kullanan Evrensel Video Adaptasyonu (EVA) (Universal Video Adaptation – UVA) modeline yer verilmiştir [56].

Nur vd. (2009) tarafından yayınlanan çalışmada, anahtar ve anahtar olmayan çerçevelerde kalite iyileştirme katmanları dengesinin asimetrik olarak ayarlanmasının farklı zamansal katmanlar için adapte edilmiş bit akışlarının Oran – Bozulma (O – B) (Rate-Distortion – R- D) performansları üzerindeki etkilerine bağlı yeni bir adaptasyon konsepti önerilmiştir. Bu konsept, video adaptasyon işlemleri sırasında farklı çerçeve

hızları için anahtar ve anahtar olmayan çerçevelerden asimetrik (bağımsız bir şekilde) kalite ölçeklenebilirlik katmanları seçilmesinin, geleneksel adaptasyon yaklaşımına göre daha iyi O – B performansları ya da daha yüksek algısal kalite sağlamasına dayanır. O – B performanslarının artış miktarı, video dizilerinin hareket yoğunluğu ile çerçeve hızları arasındaki ilişkiye bağlıdır [57].

Shen vd. (2009) tarafından yayınlanan çalışmada, video adaptasyonu yaygın multimedya uygulamalarında her ne kadar umut verici bir çözüm olarak kabul edilse de mevcut çerçevede video sunum ve tanımlama stillerinin farklı uygulama alanları için yeterince esnek olmadığından bahisle, sinyal seviyesinde (zamansal çözünürlüğün düşürülmesi, bit hızı adaptasyonu), yapısal seviyede (herhangi bir video kaydına rastgele erişim, herhangi bir anahtar çerçevenin hızlı önizlenimi) ve her ikisinin de bulunduğu ortak seviyede hızlı ve çoklu video adaptasyonu işlemlerini destekleyen bir ara tanımlamaya bağlı yeni bir çözüm önerisi sunulmaktadır. Adaptasyon sürecinin daha düşük karmaşıklık ve karşılaştırılabilir kodlama performansı ile desteklenebilmesi için öncelikle orijinal video sinyalinin bazı ön işlemlerle ara tanımlaması üretilir. Bu ara tanımlamayı oluşturmak için hareket tanımlaması ve video yapısı özellikleri müşterek olarak kullanılmıştır. Önerilen çözümün can alıcı noktası olan ara tanımlamanın sinyal seviyesinin ve yapısal seviyenin özelliklerine duyarlı olması gerekmektedir. Bu nedenle içerik tabanlı hiyerarşik hareket tanımlaması kullanılmıştır. Bu tanımlama, sadece I veya B çerçeve kodlaması yerine hiyerarşik B çerçeve kodlamayı benimsemektedir. İçerik tabanlı hiyerarşik hareket tanımlaması ile gerçek zamanlı ve farklı adaptasyon işlemlerinin desteklenmesi sağlanmıştır. Deneysel çalışmalar önerilen çözümün, uygulanabilirliğini ve etkinliğini gösteren kodlama verimliliğini korurken, gerçek zamanlı uygulamaları da desteklediğini göstermektedir [58].

Nur vd. (2010) tarafından yayınlanan çalışmada ortam aydınlatma koşullarının algılanan video kalitesi üzerinde etkisi olduğu gözlemlerine dayanılarak yeni bir bit hızı adaptasyon kararı alma tekniği önerilmiştir. Önerilen teknikte, bir video içeriğinin hareket etkinliği ve yapısal karmaşıklık karakteristiklerinden de yararlanılmıştır. Deneysel sonuçlar, bu teknik kullanılarak video içeriğinin farklı ortam aydınlatma

koşullarına göre adapte edilmesiyle, algılanan görsel kaliteden ödün vermeksizin, bit hızından önemli miktarda tasarruf edilebileceğini göstermektedir [59].

López vd. (2010) tarafından yayınlanan çalışmada bilgi tabanlı video adaptasyonunda adaptasyon kalitesini en üst düzeye çıkaran parametrelerin Video Kalite Metriği (VKM) (Video Quality Metric – VQM) bilgisine dayalı bir karar alma yöntemiyle belirlenerek ölçeklenebilir video adaptasyonu kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bilgi tabanlı içerik adaptasyonunda video adaptasyonu “dönüşüm” adı verilen bir dizi işlem basamağından meydana gelmektedir. Böyle bir sistemde spesifik bir dönüşüm aşaması ile ilgili olarak birçok parametre ile karşılaşılır. Bu durum birden fazla adaptasyon çözümünü mümkün hale getirebilir. Bilgi tabanlı yaklaşım, birçok adaptasyon çözümünün mümkün olduğu kullanım alanındaki sınırlamaları karşılayan parametreleri seçmektedir. Bu nedenle bu parametreler arasından adaptasyon sınırlamalarını karşılayan ve kullanıcının algısal kalitesini en iyi karşılayacak değerlerin VQM bilgisi kullanılarak seçilmesiyle video adaptasyonu kalitesi artırılabilir. Bilgi tabanlı yaklaşım ile nesnel kalite değerlendirme tekniklerini bir araya getirmesi nedeniyle önem arz eden bu çalışmanın deneysel sonuçları, önerilen kombinasyonun adaptasyon kalitesini artırmada oldukça etkin olduğunu göstermektedir [60].

Huang vd. (2010) tarafından yayınlanan çalışmada hareket bölütleme ve arka plan bulanıklaştırma ön işlemlerine dayalı gerçek zamanlı semantik seviye adaptasyon tekniği önerilmiştir. Bu tekniğe göre öncelikle bir video çerçevesinin hareketli ön planı, arka plandan bölütlenir ve arka plana alçak geçiren bir filtre (Gauss filtresi) uygulanarak bulanıklaşması sağlanır. Böylece videonun anlamsal olarak önemli kısmının kalitesi artırılarak video kodlayıcının hareketli ön plana arka plandan daha fazla band genişliği ayırması temin edilir. Ayrıca kullanıcının arka planı istediği miktarda bulanıklaştırmasına imkân veren bir geribildirim mekanizması bulunmaktadır. Önerilen bu tekniğin ağ kaynaklarında tasarruf sağlamanın yanı sıra kullanıcı tarafında video kalitesinde de gelişmeler olduğu ifade edilmektedir [61].

Xue ve Chen (2011) tarafından yayınlanan çalışmada, heterojen ağlar üzerinde gerçekleştirilen video iletiminin band genişliği uyumsuzlukları nedeniyle video kalitesini düşürdüğünden, bu alandaki çalışmaların çoğunun PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) (Tepe Sinyal Gürültü Oranı - TSGO) değerinin maksimize edilmesine dayandığından, ancak deneysel çalışmaların sonuçlarına göre görüntüleme kalitesi ile PSNR arasında iyi bir korelasyon olmadığından ve görüntüleme kalitesinin ekran boyutu, izleme mesafesi gibi görüntüleme koşullarından önemli derecede etkilendiğinden bahisle, klasik video adaptasyonu yöntemlerinin görüntüleme koşulları ve görüntüleme kalitesi arasındaki iki yönlü ilişkiyi takip etmediği, bu nedenle görüntüleme kalitesinin en üst seviyeye çıkarılabilmesi için hedeflenen gösterim senaryosunun da dikkate alınarak adaptasyon işleminin gerçekleştirilmesi önerilmiştir. Bu çalışmada görüntüleme mesafesinin ekran yüksekliğine oranı olarak tanımlanan görüntüleme oranının (Viewing Ratio – VR) görüntüleme koşulları ile video sinyallerinin algısal kalitelerini ilişkilendirmede önemli bir rol oynadığı belirtilerek video adaptasyonu için VR ile algısal kalite arasındaki bağlantıyı hesaplayabilen bir algoritmanın geliştirildiği ifade edilmektedir. Çalışma sonuçlarına göre önerilen VR tabanlı video adaptasyonu, sadece tasarlanmış görüntüleme senaryoları için üstün QoE (Quality of Experience) ölçümleri sağlamakla kalmaz, genel olarak band genişliği kısıtlamalı mobil cihazlar için de gelişmiş bir görsel kalite sağlar [62].

Nur vd. (2012) tarafından yayınlanan çalışmada üç farklı ileri adaptasyon tekniği önerilmiştir. Önerilen ilk teknikte, ağ band genişliği ve terminal ekran boyutu sınırlamaları karşılanırken, içerikle ilgili bilgilere göre (hareket bilgisi ve yapısal özellik) uzamsal çözünürlük, çerçeve hızı ve kalite ölçeklenebilirliği parametrelerinde adaptasyon işlemlerini yapan fayda tabanlı adaptasyon yöntemi kullanılmaktadır. Önerilen ikinci teknik, ağ band genişliği sınırlamalarını karşılamak için video içeriklerini adapte etmek amacıyla anahtar çerçeve, anahtar olmayan çerçeve ve Ağ Soyutlama Katmanı Birimleri (ASKB) (Network Abstraction Layer Unit – NALU) ile ilgili zamansal katman parametresine öncelik tanınmasına dayanmaktadır. Üçüncü teknik, ortam aydınlatmasındaki değişikliklere göre 3B video içeriklerinin bit hızının adapte edilmesidir. Çalışma konusu adaptasyon işlemleri, öznel ya da nesnel kalite

değerlendirme teknikleri ile değerlendirilmiş olup önerilen tüm tekniklerin kullanıcıların video algılamalarını geliştirmek için verimli oldukları ifade edilmektedir [63].

Maodong vd. (2012) tarafından yayınlanan çalışmada, bir öznel video kalite değerlendirme veri tabanı oluşturmak suretiyle ölçeklenebilir video adaptasyonunda QoE konusu üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada QoE analizi için geliştirilen veri tabanı üzerinden uyarlanmış Ölçeklenebilir Video Kodlama (ÖVK) (Scalable Video Coding –SVC) bit akışlarının DK değerleri ölçülerek her bir video için ayrı ayrı ve içerik karakteri açısından benzerlik göstermesi nedeniyle gruplandırılmış videolar için optimal ölçeklenebilirlik adaptasyon yöntemleri geliştirildiği ve bu yöntemlerin ve modelin rasyonelliğinin kapsamlı deneylerle doğrulandığı ifade edilmiştir [64].

Liu vd. (2012) tarafından yayınlanan çalışmada mobil cihazların heterojen ağ yapıları ve değişken ekran boyutları nedeniyle mobil 3B video akışlandırmada stereoskopik görüntü kodlamanın (transcoding) ve yeniden boyutlandırmanın (retargeting) birbirinden bağımsız adaptasyon teknikleri olduklarından bahisle mobil akışlandırma için bu iki tekniğin bütünleşik hale getirilerek düşük bit hızlı mobil akışlandırmalar için 3B algısal kalitenin optimize edilmesi önerilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen bütünleşik tekniğin 3B algısal kaliteyi artırdığını göstermektedir [65].

Liu vd. (2012) tarafından yayınlanan çalışmada kablolu ve kablosuz kanalların bir arada bulunduğu heterojen ağlar üzerinden mobil 3B video dağıtımının gerçekleştirilmekte birlikte hizmet sağlayıcılar için 3B video akışlandırmada optimal 3B görsel DK değerlerinin elde edilmesinin önemli olduğu ifade edilerek mobil 3B video hizmetlerinin kalitesinin artırılması için DK yönelimli bir kodlama (transcoding) yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen 3B görsel DK tahmin modelinin 3B içeriklerin önceden kontrol edilmiş DK paternlerini öğrenmesi yoluyla ağdan veya son kullanıcıdan gelecek geri beslemeye göre “transcoding” konfigürasyonlarının gerçek zamanlı olarak yapılması mümkündür. Bu model, 3B görsel DK ile kullanıcının gerçek ağ şartlarında algısal kalitesini etkileyen “transcoding” ile ilgili parametreler

arasındaki lineer olmayan ilişkiyi karakterize etmektedir. Deneysel sonuçlar önerilen modelle adapte edilmiş 3B videoların heterojen ağlarda dağıtılabileceğini ve sabit NP'ye göre yapılan veya ortalama kare hatası ile optimize edilmiş “transcoding” işlemleri uygulandığında oldukça iyi DK değerleri elde edildiğini göstermektedir [66].

Dabellani vd. (2013) tarafından yayınlanan çalışmada, farklı terminaller ve band genişliklerinde video içeriklerinin gerçek zamanlı adaptasyonunun sağlanması için donanımsal olarak yeniden konfigüre edilebilir bir yapı önerilmektedir. H264/AVC ve/veya MPEG-2 olarak kodlanmış videolar için tasarlanmış olan bu yapı, dinamik ve kısmi yeniden yapılandırmaların dikkate alınması sebebiyle IP entegrasyonu ve mimari araştırmalar için önem arz etmektedir. Dinamik ve kısmi yeniden yapılandırma modeli, erken performans tahminine ve farklı kodlamalara uygun çözümler üretilmesine olanak sağlamaktadır [67].

Uitto ve Vehkaperä (2013) tarafından yayınlanan çalışmada, adaptasyonun nasıl yapılması gerektiğine ilişkin en iyi stratejiyi, yeterli adaptasyon süresini, sıkıştırma verimliliği, kanal kaynaklarının kullanımı ve objektif kaliteyi en üst seviyeye çıkaran katman sayısının bulunması hedeflenmiştir. Bu çalışmadan video sıkıştırma için katmanlı video yapısı sağlayan ve bant genişliği dalgalanmalarına karşı video adaptasyonuna imkân veren ÖVK kullanılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre iki geliştirme katmanı için kodlanan karmaşık içerik için uzun adaptasyon süresinin, sıkıştırma verimliliğini ve objektif kalitesini yeterli seviyede tutarken, gerekli kanal tasarrufu sağladığı görülmektedir [68].

López vd. (2013) tarafından yayınlanan çalışmada, farklı mobil cihazlar üzerinde (cep telefonu, tablet bilgisayar) uzamsal, zamansal ve kalite ölçeklenebilirliğinin algılanan kalite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bun çalışmaya göre öncelikle farklı cihazların gözlemci tarafından algılanan kaliteyi etkilediği ve gözlemcilerin ölçeklenebilirlik tipine bağlı olarak gözlemlenen videolara farklı tepkiler verdiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte ekran boyutu ve çözünürlüğü ile videonun izlendiği ortamın da gözlemcileri etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca video içeriğine hareket halindeyken

erişme veya daha hızlı erişme isteği, görüntü kalitesi, çözünürlük ve çerçeve hızında en yüksek kaliteyi elde etme gereksinimini azaltmaktadır. Bununla birlikte QP için alınan gözlemci puanları, dizideki uzamsal bilgi miktarı ile ters orantılıdır. Öte yandan, zamansal ölçeklenebilirlik puanları, dizinin zamansal bilgisiyle doğru orantılıdır. Son olarak, uzamsal çözünürlüğe bağlı ölçeklenebilirlik cihaz boyutu ve çözünürlüğü ile ilişkilidir, daha küçük boyutlu cihazlarda daha iyi sonuçlar alınmıştır [69].

Nur vd. (2014) tarafından yayınlanan çalışmada, mobil cihazlar için kesintisiz video erişimini mümkün kılmak amacıyla, en uygun çerçeve hızını, uzamsal çözünürlüğü ve kalite parametrelerini seçmek için fayda tabanlı bir yaklaşıma dayanan gelişmiş bir video adaptasyon kararı alma tekniği önerilmiştir. Bu tekniğe yardımcı olması için en iyi ölçeklenebilir parametreler kümesine karar vermek amacıyla çerçeve hızı, uzamsal çözünürlük ve kalite parametrelerinin korelasyonlarını göz önüne alan bir FF modeli de önerilmiştir. Önerilen video adaptasyon kararı alma tekniğini ve adaptasyon işlemlerini gerçekleştirmek için bir video adaptasyon mimarisi geliştirilmiştir. MPEG-21 destekli araçlar, önerilen mimarinin çalışmasını uluslararası standartlara yaklaştırmak için adaptasyon kararı alma sürecine yardımcı olmaktadır. Hareket ve yapısal özellik seviyesine dayalı sınıflandırma yöntemleri, video içeriklerini birbirinden farklı türlerde kategorize etmek için geliştirilmiştir. Farklı kategorilere ait video içerikleri kullanılarak öznel testlere dayanılarak ağırlık faktörleri tablosu, oluşturulmuştur. Buna göre, FF ağırlıkları video içeriği türüne bağlı olarak belirlenmektedir [15].

Yılmaz vd. (2014) çalışmalarında belirli ortam aydınlatma koşulları altında görüntülenen bir 3B video için önerilen algılama modeliyle ortam aydınlatma koşulu değişiklikleri dikkate alınarak 3B video kalitesinin algılanmasını artırmak amacıyla 3B video bit hızı adaptasyon kararı alma tekniğini önermiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen tekniğin, 3B video kalitesi algısından ödün vermeden ağ kaynaklarını daha verimli kullanmak için ortam aydınlatma seviyesindeki değişikliklerden yararlanabileceğini göstermektedir [70].

Yılmaz (2016) tarafından yayınlanan çalışmada, 3B video adaptasyonu kararı alma ve adaptasyon sürecinde görüntüleme ortamının farklı koşullarda aydınlatılmasının, uzamsal çözünürlüklerin ve video içeriğiyle ilgili özelliklerin dikkate alınarak insan görme sisteminin 3B video algılama hassasiyetini izlemek amacıyla öznel deneyler yapılmıştır. Öznel deneylerden elde edilen sonuçlar ışığında bir bit hızı adaptasyon modeli ve bu modele yardımcı bir adaptasyon kararı alma tekniği önerilmiştir. Önerilen adaptasyon kararı alma tekniği kullanılarak, belirli bir uzamsal çözünürlüğe sahip verilen bir 3B video dizisinin adaptasyonu için en uygun bit hızı, bir miktar ortam aydınlatma değişimi altında belirlenebilmektedir. Öznel testler ile elde edilen deneysel sonuçlar, önerilen adaptasyon modelinin 3B video algısından ödün vermeksizin başarılı olduğunu göstermektedir. Önerilen model, özellikle paylaşımlı ağlarda önemli miktarda band genişliği tasarrufu sağlamakla birlikte izleyicilerin 3B video izleme algılarını sürdürmek için oldukça etkilidir [71].

Goureishi ve Aghvami (2016) tarafından yayınlanan çalışmada Dikgen Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (DFBÇE) (Orthogonal Frequency Division Multiple Access – OFDMA) sistemleri üzerinden güç tasarrufu ile akışlandırma gerçekleştirilebilmesi amacıyla DK duyarlı bir video adaptasyonu ve kaynak tahsisi yaklaşımı önerilmiştir. Bu adaptasyon yaklaşımına göre DK ve gecikme kısıtlamaları altında daha düşük bit hızlı versiyon üretmek için paketleri video akışından seçerek düşürülmektedir. Böylece kablosuz ağın video kapasitesi artar ve yükü azalır. Daha sonra düşük bit hızlı akışın gecikme kısıtlamasını dikkate alarak iletim gücü en aza indirilmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen sistemin DK gerekliliklerini yerine getirirken uçtan uca gecikme ve güç verimliliği açısından önemli bir performans artışı olduğunu göstermektedir [72].

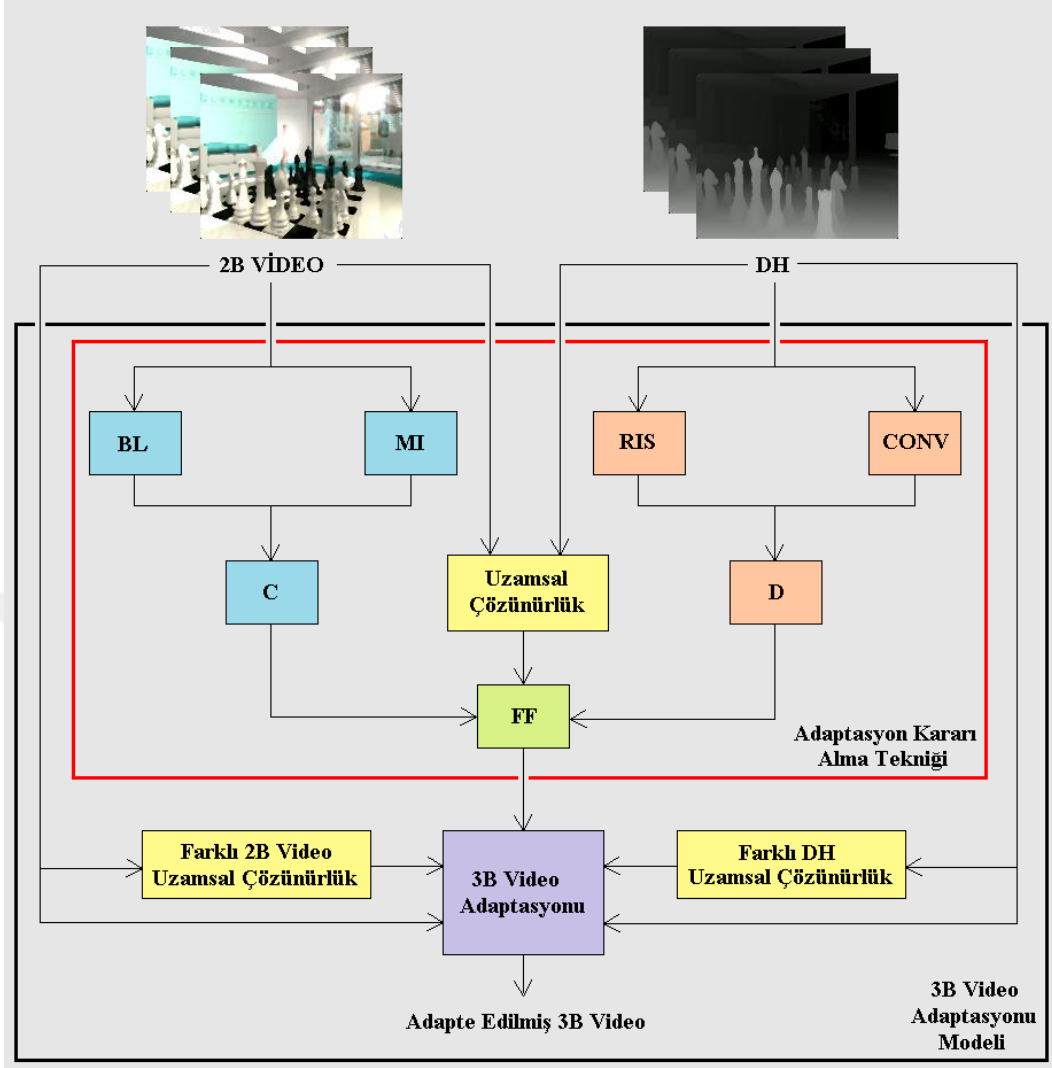
3. ÖNERİLEN UZAMSAL ÇÖZÜNÜRLÜĞE BAĞLI 3B VİDEO ADAPTASYONU MODELİ

Bu çalışmada geliştirilen 3B video adaptasyon modeli Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Söz konusu model geliştirilirken 5 farklı nicemleme parametresi (NP) ile kodlanan videolar üzerinde de uzamsal çözünürlük ile bağlantılı olduğu öngörülen ve 3B videonun izleyiciler üzerinde oluşturduğu derinlik algısını etkileyen ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Şekil 3.1’den de görüleceği üzere, bu ölçüm teknikleri 2B videolardan çıkarılan bulanıklık ve hareket seviyesi ile DH’lerden çıkarılan ağ katmansal görüntü boyutu ve yakınsama özelliklerine dayanmaktadır.

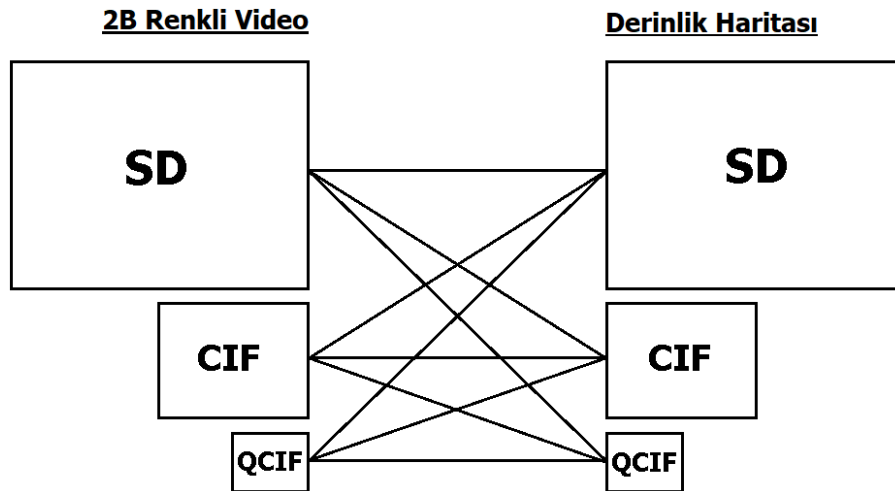
Daha sonra önerilen ölçüm teknikleri, korelasyon analizi yöntemi kullanılarak öznel test sonuçları ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 3.1’de *C* ve *D* ile gösterilen ifadeler sırasıyla, bu ilişkilendirme sonucunda elde edilen 2B video ve DH’lerin 3B videoyu oluştururken birbirlerine kıyasla uzamsal çözünürlüklerinin ağırlıklarını belirten değerlerdir.

Yine Şekil 3.1’den görüleceği üzere bir adaptasyon karar alma tekniği oluşturmak adına, *C* ve *D*’nin yanı sıra 2B video ve DH’lerin farklı uzamsal çözünürlüklerini kullanan bir FF oluşturulmuştur. Oluşturulan FF, 2B video ve DH’lerini kullanarak bir 3B videonun en optimum uzamsal çözünürlüklerde adapte edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan 2B video ve DH’lere ait farklı uzamsal çözünürlük kombinasyonları Şekil 3.2’de resmedilmiştir. Oluşturulan adaptasyon karar alma algoritmasını kullanarak geliştirilen 3B video adaptasyon modeli, farklı 2B video ve DH uzamsal çözünürlükleri içeren 3B videoların sınırlı band genişliğine sahip kanal ve terminal cihaz ekran boyutu kısıtlamalarına takılmayı önleyecek şekilde adapte edilmelerini sağlamaktadır.



Şekil 3.1. Geliştirilen adaptasyon kararı alma tekniği ve 3B video adaptasyonu modeli

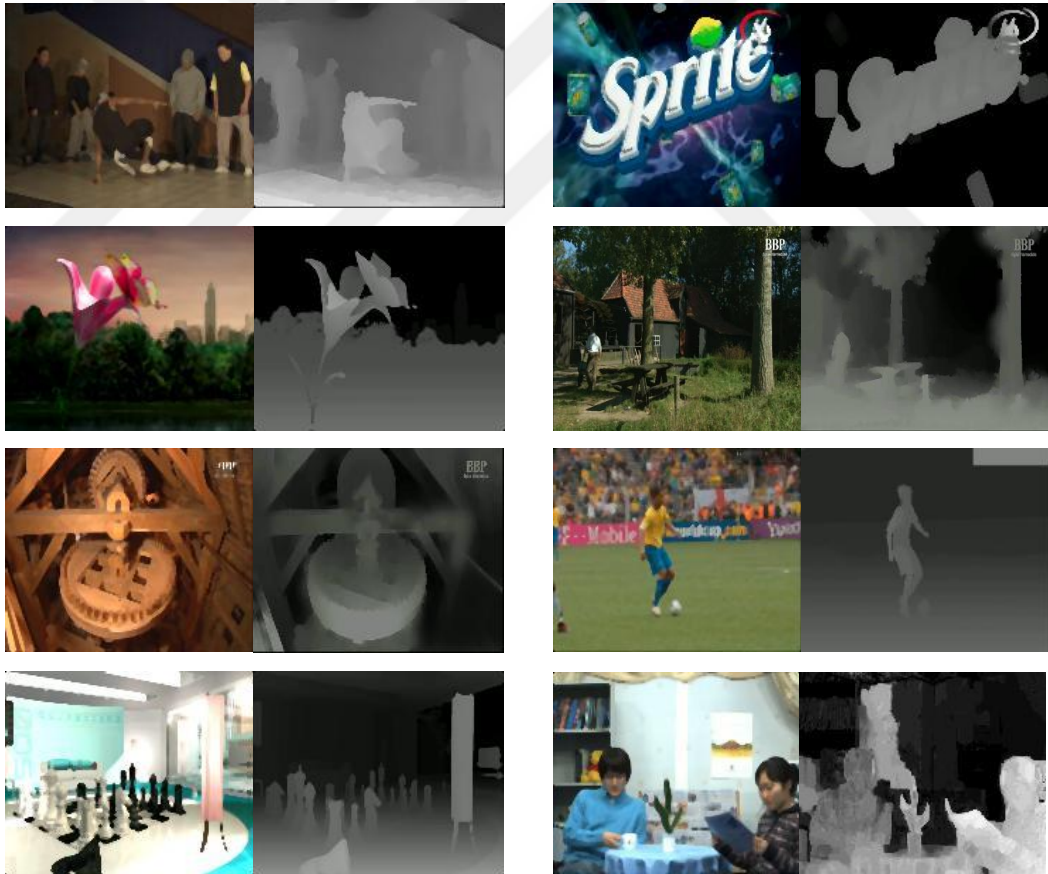


Şekil 3.2. Adaptasyon için 2B video ve DH kombinasyonları

Bu bölümde geliştirilen modelin bahsedilen tüm adımları birer birer detaylı olarak anlatılacaktır.

3.1. Kullanılan Videoların Özellikleri

Önerilen 3B video adaptasyonu modeli geliştirilirken 10 farklı orijinal renkli video (Breakdance, Butterfly, Windmill, Chess, Interview, Advertisement, Farm, Football, Newspaper, Ballet) ve bunlara ait DH'ler 5 farklı NP (25, 30, 35, 40 ve 45) ile, 30 görüntü hızında ve 16 çerçeve sıklığında (GoP) ve Joint Scalable Video Model (JSVM) kodek 9.13.1 kullanılarak kodlanmıştır. Kullanılan renkli videolara ve bunlara ait DH'lere ait anlık görüntüler Şekil 3.3'te verilmiştir. Ayrıca söz konusu 3B videoların adları ve orijinal boyutları Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Renkli videolara ve ilişkili DH'lere ait anlık görüntüler



Şekil 3.3. (devamı)

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan 3B videolar ve orijinal boyutları

3B Video Adı	Orijinal Boyut
Breakdance	1024x768
Butterfly	960x540
Windmill	960x540
Chess	960x540
Interview	720x576
Advertisement	960x540
Farm	960x540
Football	960x540
Newspaper	1024x768
Ballet	1024x768

Bilindiği üzere sayısal videoların kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan birisi sıkıştırma işlemleridir. Sıkıştırma işlemleri çoğunlukla videonun ayrık kosinüs bileşenleri üzerinde nicemleme işlemi uygulanarak gerçekleştirilir. Bunun için öncelikle sıkıştırılmak istenen video, makrobloklara ayrılır. Her bir makrobloğa soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) uygulanarak elde edilen ayrık kosinüs bileşenlerine nicemleme işlemi uygulanarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Nicemleme işlemi, ayrık kosinüs bileşenlerinin belirli değer aralıklarına indirgenmesidir. Yüksek kaliteli sayısal videolarda sıkıştırma oranı düşük olduğundan veri miktarı fazladır. Bunun tam aksine düşük kaliteli sayısal videolarda sıkıştırma oranı yüksek olduğundan fazla miktarda veri kaybı olması söz konusudur. Bu nedenle sıkıştırma işlemlerinde arzu edilen sıkıştırma oranı ile uyumlu nicemleme matrisi kullanılması gerekmektedir. Özetle sıkıştırılmak istenen sayısal videodan AKD ile elde edilen ve yüksek frekanslı bileşenlerden oluşan matrisin her bir elemanının, aynı boyuttaki ve arzu edilen sıkıştırma oranıyla uyumlu nicemleme matrisinde kendisine karşılık gelen matris elemanına bölünmesi ve bölme işlemi sonucunun en

yakın tamsayı değerine yuvarlanmasıyla sıkıştırılmış sayısal video elde edilir. Bu durum aşağıdaki şekilde formülize edilebilir;

$$Y = \text{round} \left(\frac{X}{M} \right) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte X, sıkıştırılmak istenen sayısal görüntünün matris formundaki AKD uygulanmış hali; M, X matrisi ile aynı boyuttaki nicemleme matrisi; Y, sıkıştırılmak istenen sayısal görüntünün matris formundaki sıkıştırılmış halidir.

Açıklanan nedenlerle küçük NP değerlerinde daha az sıkıştırma gerçekleştirildiğinden daha yüksek video kalitesi elde edilmektedir. Bununla birlikte büyük NP değerlerinde daha fazla sıkıştırma olmakla birlikte video kalitesinde önemli ölçüde düşüş görülür [73].

Bu açıklamalar doğrultusunda bu çalışmada kullanılan renkli videoların ve DH'lerin kalitelerinin NP=25 olarak kodlanarlardan NP=45 olarak kodlanarlara doğru düşüş gösterdiğini söylemek mümkündür (NP=25 olanlar en yüksek, NP=45 olanlar en düşük kalitede).

3.2. 2B Videolar İçin Geliştirilen Ölçüm Teknikleri

Bu alt bölümde 2B videolar için geliştirilen ve derinlik algısı ile doğrudan ilgili olan bulanıklık ve hareket seviyesi ölçüm teknikleri sırasıyla anlatılacaktır.

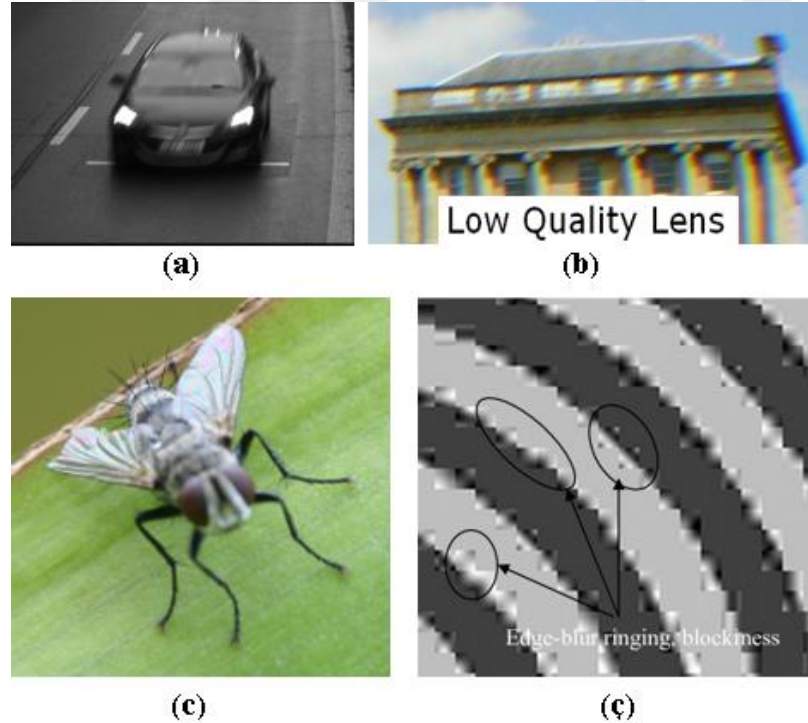
3.2.1. Bulanıklık (Blur – BL)

Bulanıklık, görüntüde özellikle kenar bilgisi içeren yüksek frekanslı bileşenlerin azalması olarak kendisini göstermektedir. Buna göre bulanık unsurlar içeren bir

görüntüde nesnelerin kenarlarının hareket yönünde daha geniş, daha yayılmış halde ve nesnelerin sınırlarının daha belirsiz olduğu görülür. Tam tersine bulanıklığın daha az olduğu keskin (sharp) görüntülerde ise kenar bilgisi içeren yüksek frekanslı bileşenler daha fazla olduğundan nesnelerin kenarları daha ince ve belirgin haldedir. Dolayısıyla nesnelerin ayırt edilebilmesi daha kolaydır.

Bir görüntüdeki bulanıklık, farklı etkenlerden kaynaklanabilmektedir. Örneğin kameranın veya görüntülenen nesnenin hareket etmesi, atmosferik nedenler, objektiften kaynaklanan odaklanma sorunları, kullanıcıdan kaynaklanan hatalar (doğru objektif seçilmemesi vs.), sensör hataları ve görüntüye uygulanan sıkıştırma işlemleri, görüntüdeki bulanıklığın kaynağı olabilmektedir. Şekil 3.4'te farklı nedenlerle meydana gelen bulanıklık örnekleri görülmektedir.

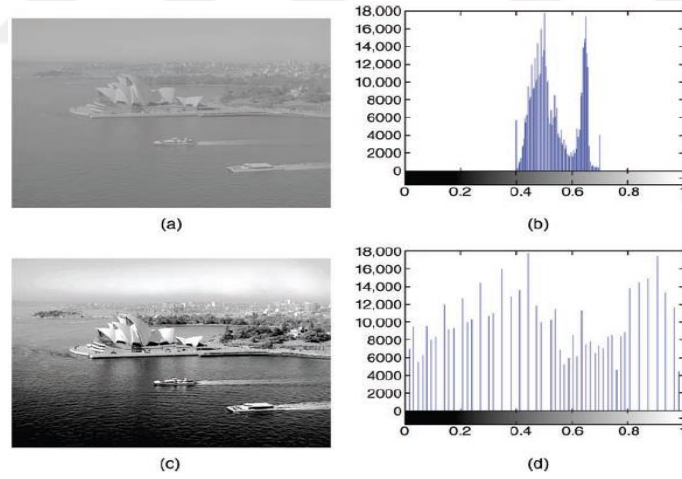
Bulanıklığın ölçülmesi için geliştirilmiş standart bir yöntem bulunmamakla birlikte, literatürde bulanıklığın kaynağına göre farklı bulanıklık ölçme yöntemleri önerilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır;



Şekil 3.4. Bulanıklık nedenleri: (a) Hareket [74]; (b) Düşük lens kalitesi [75]; (c) Odaklanma sorunu [75]; (ç) Sıkıştırma [76]

Marichal vd. (1999) tarafından önerilen yaklaşımda görüntü önce bloklara bölünür, sonra her bir bloğa Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD) (Discrete Cosine Transform – DCT) uygulanarak yüksek frekanslı bileşenlere bakılır. Eğer blokların çoğunluğunda yüksek frekanslı bileşenler eksikse görüntünün bulanık olduğu söylenebilir [77]. Marziliano vd. (2002) tarafından önerilen yaklaşımda görüntüdeki nesnelerin kenarlarının ortalama genişliklerinin ölçülmesi söz konusudur. Bu yaklaşıma göre görüntüye öncelikle bir kenar bulma algoritması uygulanır, ardından bulunan kenarların her iki yanındaki yerel minimum/maksimum noktası arasındaki mesafe ölçülür [78]. Caviedes ve Gürbüz (2002) tarafından yapılan çalışmada, keskinliğin (sharpness) bulanıklığın tersi olduğuna açıklık getirildikten sonra kenar bilgilerini içeren bloklar üzerinden DCT katsayılarının basıklığını (kurtosis) hesaplayan bir keskinlik algoritması önerilmiştir [79]. Ong vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada ise bulanıklık, bir görüntüdeki kenar bilgilerinin ortalama genişliği olarak açıklanmış ve geliştirilen algoritmanın öznel değerlendirmelerle nispeten iyi korelasyon gösteren sonuçlar sağlayabileceği ifade edilmiştir [80]. Hu vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada herhangi bir kenar belirleme algoritması kullanılmadan Gauss filtresi ile bulanıklaştırma yöntemine dayalı bir öneride bulunulmuştur. Bu model özellikle odaklanma hatasına bağlı bulanıklık ile ilgili ölçümlerde başarılı olmuştur [81]. Crete vd. (2007) ise yaptığı çalışmada bulanıklık etkisini bir Gauss filtresi (alçak geçiren filtre) ile modelleyerek görüntünün bulanıklaştırılmış versiyonları arasındaki farka dayanan bir bulanıklık tahmin yöntemi geliştirmiştir. Buna göre bir görüntü bulanıklaştırıldıkça komşu piksellerin değerleri birbirine yakınsamaya başlamaktadır. Keskin bir görüntünün bulanıklaştırılması halinde komşu piksellerin değerlerinde büyük bir değişim görülecektir. Ancak hâlihazırda bulanık olan bir görüntünün bulanıklaştırılması halinde komşu piksellerin değerlerinde daha az değişim olduğu görülecektir. Bu çalışma, kontrastın da bulanıklık üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir [82]. De ve Masilamani (2013) tarafından yayınlanan çalışmada bir görüntünün keskinliğinin/bulanıklığının frekans domeni üzerinden ölçümüne yönelik bir öneride bulunulmuştur. Bulanıklık miktarı arttıkça görüntüdeki yüksek frekanslı bileşenlerin azalmasından hareketle yapılan bu öneride referanssız bir görüntü kalite değerlendirme yönteminden faydalanılmıştır [83].

Bir görüntünün bulanıklığı doğrudan o görüntünün kontrastı ile ilişkilidir. Kontrast basitçe bir görüntüdeki en aydınlık (parlak) bölge ile en karanlık bölge arasındaki farktır. Görüntünün en aydınlık bölgesi ile en karanlık bölgesi arasındaki kontrast aralığı genişledikçe görüntüdeki ara değerler daha rahat ayırt edilebilir. Yani kontrastın artması, görüntüdeki ayrıntıların daha iyi seçilebilmesine ve bulanıklığın azalmasına sebep olur. Kontrast miktarının düşük olduğu görüntülerin histogram grafikleri incelendiğinde piksellerin aritmetik ortalama değerine yakın bir alanda yığılma gösterdiği görülür. Kontrast miktarının yüksek olduğu görüntülerin histogram grafikleri incelendiğinde ise piksel değerlerinin daha dağınık bir dağılım gösterdiği görülür. Şekil 3.5’te bir görüntünün düşük ve yüksek kontrastlı durumları ve bunlara ait histogram grafikleri verilmiştir. Görüldüğü üzere bir görüntüde kontrastın yüksek olması, bulanıklığın daha az olmasını beraberinde getirmektedir. Bulanıklığın düşük olması, nesnelerin kenar çizgilerinin daha belirgin olmasını ve ayırt edilebilmelerini sağlar. Dolayısıyla bulanıklık miktarının düşük olması, izleyicinin derinlik algısındaki artışı beraberinde getirmektedir. Bulanıklık, video kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir etkidir.



Şekil 3.5. Kontrastın bulanıklığa etkisi: (a), (b) Düşük kontrastlı görüntü ve histogramı; (c), (d) Yüksek kontrastlı görüntü ve histogramı [76]

Bu tez çalışmasında bulanıklık bilgilerinin elde edilmesi amacıyla sırasıyla her bir renkli video çerçevelerine ayrılıp gri tonlamalı duruma getirildikten sonra her bir çerçeve için piksellerin gri değerlerinden standart sapma değerlerinin hesaplanması ve

toplam standart sapmanın video boyutu ve çerçeve sayısı ile normalize edilmesi işlemleri uygulanmıştır.

Standart sapma, bir veri kümesindeki verilerin aritmetik ortalama değerine olan yakınlıklarına ilişkin bilgidir. Standart sapma aşağıdaki şekilde formülüne edilir;

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

(3.1) eşitliğindeki σ ifadesi standart sapmayı, N ifadesi veri kümesinin eleman sayısını, x_i ifadesi veri kümesindeki i . elemanı ve \bar{x} ifadesi veri kümesinin elemanlarının aritmetik ortalamasını temsil etmektedir. Buna göre standart sapmanın küçük olması verilerin aritmetik ortalamaya yakın yerlerde dağıldığını, yani verilerin aritmetik ortalamadan sapmasının daha az olduğunu ve veri kümesinin homojen bir yapıda olduğunu; standart sapmanın büyük olması ise verilerin aritmetik ortalamadan uzak bölgelerde dağıldığını, yani verilerin aritmetik ortalamadan daha fazla saptığını, dolayısıyla veri kümesinin heterojen bir yapıda olduğunu göstermektedir. Veri kümesindeki bütün verilerin değerlerinin aynı olması halinde ise standart sapma değeri sıfırdır.

Bu bilgiler doğrultusunda, bir 2B videonun her bir çerçevesinin çerçevedeki piksel değerlerinden oluşan matris şeklindeki bir veri kümesi olduğu düşünülebilir. Bu bağlamda, gri tonlamalı bir çerçevede piksel değerlerinin standart sapmasının küçük olması halinde, görüntüdeki piksel değerleri piksellerin aritmetik ortalamasından daha az miktarda sapma gösterecek, pikseller arasındaki zıtlık, yani kontrast miktarı düşük olacak, dolayısıyla bulanıklık miktarı artacaktır. Benzer şekilde piksel değerlerinin standart sapmasının büyük olması halinde, görüntüdeki piksel değerleri piksellerin aritmetik ortalamasından daha fazla sapma gösterecek, pikseller arasındaki zıtlık yüksek olacak, dolayısıyla bulanıklık miktarı azalacaktır.

Bu bilgiler ışığında geliştirilen algoritma ile 5 farklı NP ile kodlanmış SD, CIF ve QCIF uzamsal çözünürlüklerindeki 10 farklı renkli video üzerinde bulanıklık

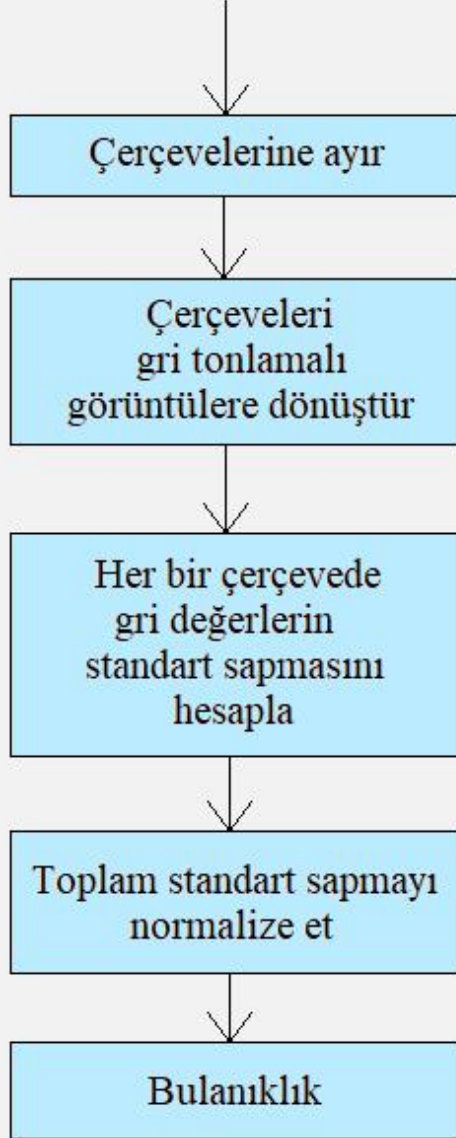
ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.6'da geliştirilen bulanıklık ölçüm algoritmasının akış şeması verilmiştir.

Buna göre bulanıklık ölçümü alınacak bir video öncelikle çerçevelerine ayrılır ve her bir çerçeve gri tonlamalı görüntüye dönüştürülür. Ardından gri tonlamalı her bir görüntünün içerdiği piksel değerlerinden her bir çerçeve için ayrı ayrı standart sapma değeri hesaplanır. Son olarak ise tüm çerçevelerin standart sapma değerleri toplanıp uzamsal çözünürlük ve çerçeve sayısı ile normalize edilerek videonun bulanıklık ölçüsü elde edilir.





2B



Şekil 3.6. Geliştirilen bulanıklık ölçüm algoritması akış şeması

3.2.2. Hareket Bilgisi (Motion Information – MI)

Derinlik algısı ile ilgili en önemli parametrelerden birisi de videonun hareket bilgisidir. Hareket bilgisi, video çerçevelerinin hareket yoğunluklarına bağlıdır. Çerçevelerin hareket yoğunluklarının ölçülmesinde ise optik akış vektörlerinden yararlanmak gerekmektedir.

Optik akış, bir görüntüdeki parlaklık paternlerinin hareketinin görünen hızlarının dağılımıdır [84]. Benzer şekilde optik akış, bir görüntü dizisindeki parlaklık paternlerinin görünür hareketi olarak da tanımlanabilir [85]. Bir başka deyişle, üç boyutlu sahnede gözlemci hareket ettiğinde görüntüde meydana gelen gözle görünür harekettir [86].

Optik akış hesaplamaları, en genel şekilde yoğun (dense) optik akış algoritmaları ve yoğun olmayan/seyrek (sparse) optik akış algoritmaları olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilir. Yoğun optik akış, bir görüntü dizisindeki her bir pikselin mevcut çerçeve ile bir önceki çerçeve arasında meydana gelen yer değiştirme miktarının global olarak hesaplanmasına dayanır. Horn&Schunk, Black&Anandan gibi yöntemler yoğun optik akış hesaplama algoritmalarındandır. Yoğun olmayan/seyrek optik akış ise bir görüntü dizisinde yalnızca yer değiştiren piksellerin mevcut çerçeve ile bir önceki çerçeve arasında meydana gelen yer değiştirme miktarının lokal olarak hesaplanmasına dayanır. Lucas&Kanade yöntemi yoğun olmayan optik akış hesaplama algoritmalarındandır [87]. Bu çalışmada hareket bilgisinin ölçülmesi amacıyla Horn&Schunck yöntemiyle hesaplanan optik akış vektöründen faydalanılmıştır.

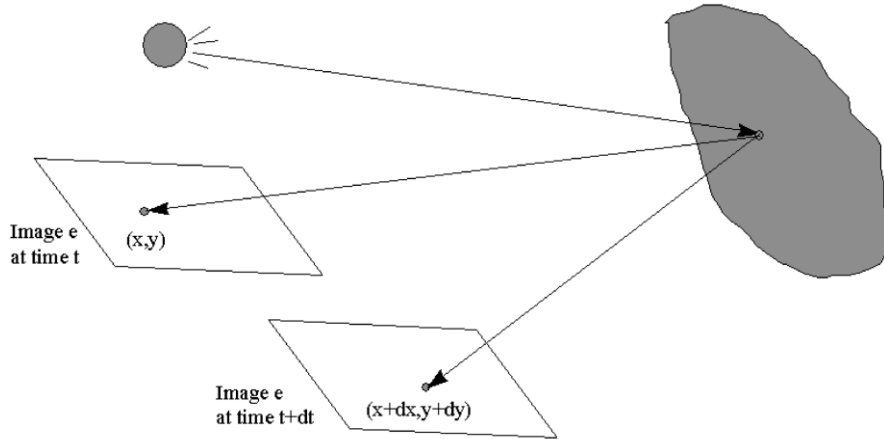
Ayrıca optik akış hesaplamalarının gradyan tabanlı, korelasyon tabanlı, enerji tabanlı ve faz tabanlı yöntemler ile yapılması mümkündür. Horn&Schunck ve Lucas&Kanade gibi gradyan tabanlı yöntemler, uzay-zamansal türevlerin kullanıldığı hesaplama yöntemleridir. Gradyan tabanlı yöntemler, diğer birçok yöntemle göre nispeten daha az hesaplama karmaşıklığına sahiptir ve makul bir hata oranı ile yüksek yoğunluklu optik akış vektörleri sağlar. Black&Anandan yöntemi gibi korelasyon tabanlı yöntemler,

ardışık çerçeveler arasındaki benzerliklerin belirlenmesine dayanır. Enerji tabanlı yöntemlerde hız ayarlı filtrelerin çıkış enerjileri dikkate alınır. Heeger'in kullandığı bu yöntemde güç spektrumunun örneklenmesi için 3B Gabor filtreleri kullanılır. Tahmin edilen ve ölçülen hareket enerjileri arasındaki farkı en aza indirmek için en küçük kareler yönteminden faydalanılır. Fleet&Jepson gibi faz tabanlı yöntemler, enerji tabanlı yöntemlere benzemekle birlikte genlik bilgisi yerine faz bilgisini kullanmaktadır [88].

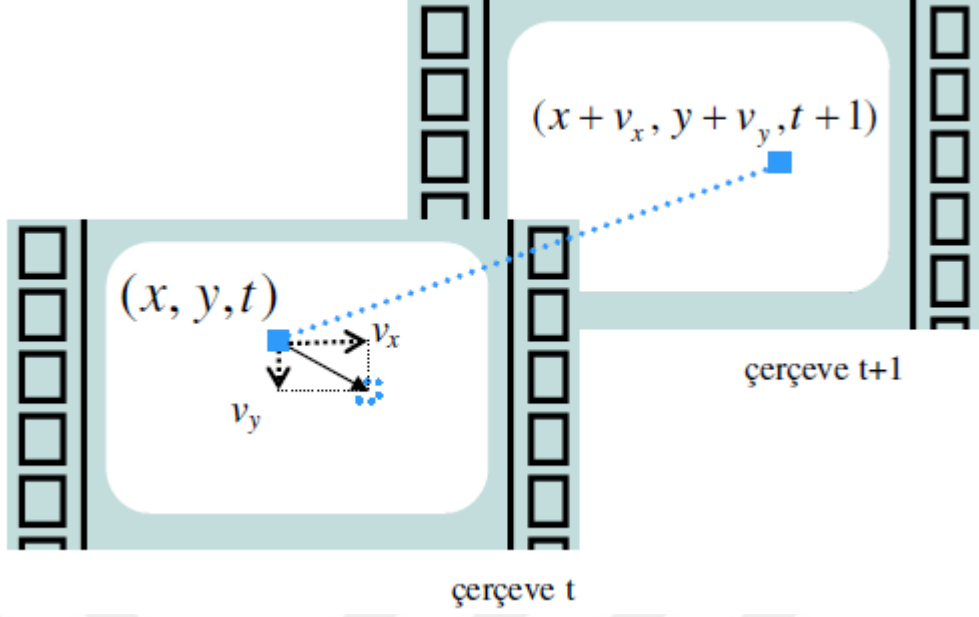
Zamanla değişen bir görüntüde (x,y) koordinatındaki bir pikselin parlaklık bilgisi $I(x,y,t)$ ifadesi ile gösterilir. Sabit parlaklık varsayımının kabul edilmesi ve ardışık çerçeveler arasındaki hareket akışının büyük olmaması nedeniyle, diferansiyel optik akış hesaplama yöntemlerine göre, (x,y) koordinatındaki pikselin dt kadarlık bir süre içerisinde dx ve dy kadar yer değiştirmesi halinde parlaklık değerinde değişme olmayacaktır. Bu durum aşağıdaki şekilde formülize edilir;

$$\frac{dI}{dt} = 0 \quad (3.3)$$

Bu varsayım, optik akış vektörlerinin hesaplanmasında önemli bir unsur olup "parlaklığın (şiddetin) değişmezliği kistası" olarak adlandırılır [89]. Bu varsayımın kabul edilmemesi halinde, videonun çerçeveleri arasında doğru bir eşleştirme yapılması mümkün olmayacaktır. Şekil 3.7'de ve Şekil 3.8'de zamanla değişen bir görüntüde (x,y) koordinatındaki bir pikselin yer değişimini gösteren t ve $t+dt$ anındaki çerçeveler verilmiştir.



Şekil 3.7. Parlaklık pikselinin şiddetinin değişmeden yer değişimi [85]



Şekil 3.8. Parlaklık pikselinin yer değişiminin hız bileşenleriyle gösterimi [86]

Buna göre $(x+dx, y+dy)$ koordinatındaki parlaklık ifadesi, Taylor serisi açılımından faydalanılarak şöyle yazılabilir;

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) + \frac{\delta I}{\delta x} dx + \frac{\delta I}{\delta y} dy + \frac{\delta I}{\delta t} dt + Y.D.T. \quad (3.4)$$

(3.4) eşitliğinde;

$$\frac{\delta I}{\delta x} dx + \frac{\delta I}{\delta y} dy + \frac{\delta I}{\delta t} dt + Y.D.T. = 0 \quad (3.5)$$

olduğuna göre;

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) \quad (3.6)$$

yazılması mümkündür. Eğer (3.5) eşitliğinin her iki tarafı dt 'ye bölünürse;

$$\frac{\delta I}{\delta x} \frac{dx}{dt} + \frac{\delta I}{\delta y} \frac{dy}{dt} + \frac{\delta I}{\delta t} + \dots = 0 \quad (3.7)$$

eşitliği elde edilir. (3.7) eşitliğinde $\frac{dx}{dt} = u$ ve $\frac{dy}{dt} = v$ ifadeleri yerlerine yazılırsa;

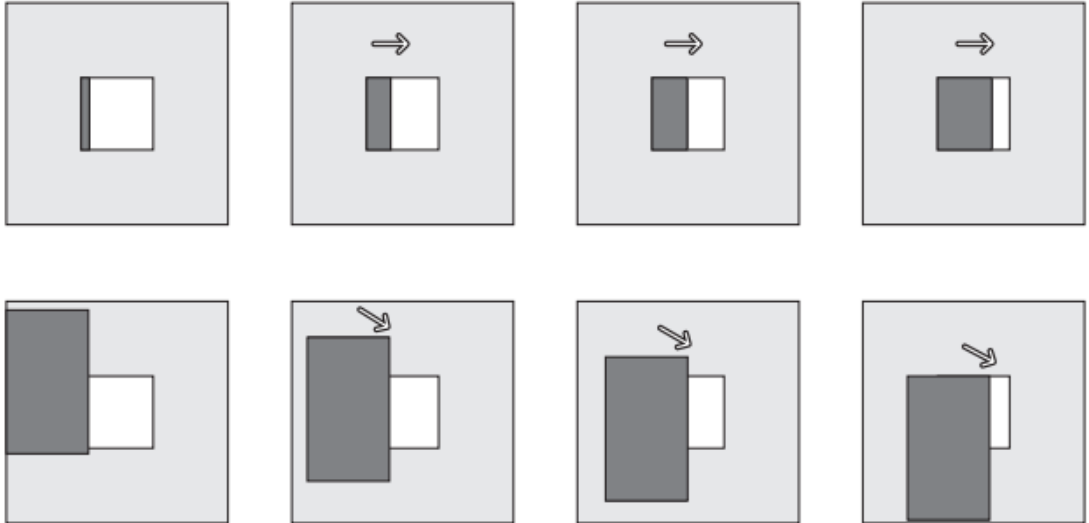
$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (3.8)$$

eşitliği elde edilir. (3.8) eşitliğine “optik akış kısıtlama denklemi” de denir. Optik akış kısıtlama denklemi;

$$(I_x, I_y)(u, v) = -I_t \quad (3.9)$$

şeklinde de yazılabilir.

(3.9) eşitliğine göre u ve v olmak üzere iki bilinmeyen bileşene sahip bir optik akış vektörünün varlığı söz konusudur. Bu nedenle denklemin bu haliyle, görüntü için tek bir optik akış vektörünün bulunması mümkün değildir. Söz konusu bileşenlerin hesaplanabilmeleri için başka bir denkleme daha ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, belirsizlik (aperture) sorunu olarak adlandırılır. Belirsizlik sorunu, optik akış ile gerçek hareketin uyuşmaması olarak ortaya çıkmakta olup hareketin gerçek doğrultusunun izleyici tarafından doğru olarak algılanmasını engellemektedir. Şekil 3.9’da belirsizlik sorunu görülmektedir.



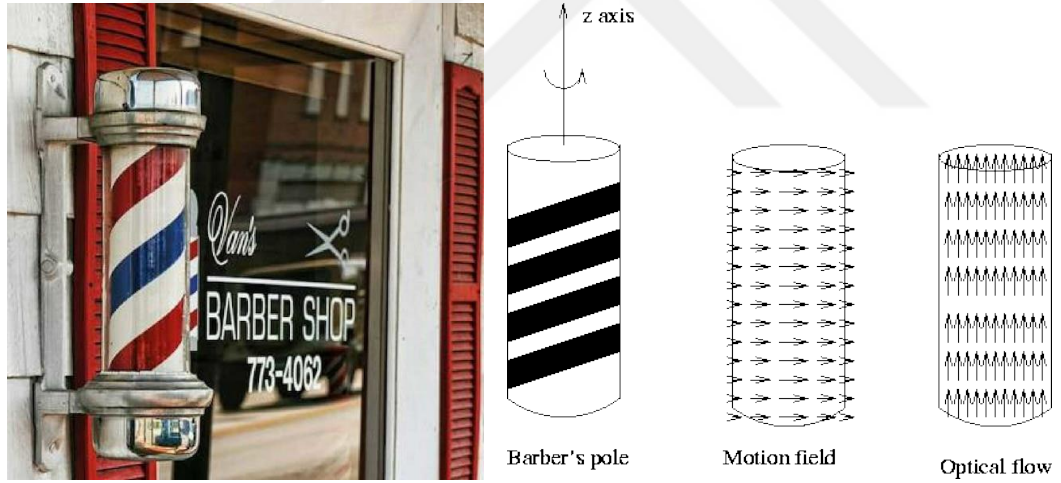
Şekil 3.9. Belirsizlik sorunu [90]

Şekil 3.9’da resmedilen belirsizlik problemine göre, ilk satırda bulunan küçük bir pencerenin ardındaki köşe noktaları görünmeyen nesnenin soldan sağa doğru hareket

ettiği algılanır. Ancak ikinci satırda nesnenin esasen pencerenin sol tarafından sağ alt köşesine doğru hareket ettiği görülmektedir. Buna göre pencerenin ardındaki nesnenin ayırt edici noktalarının görünmemesi, yalnızca kenarlarının görülmesi nedeniyle nesnenin soldan sağa doğru hareket ettiğinin algılanması söz konusudur [91] [92].

Benzer şekilde, Şekil 3.10'da görülen berber direğinin gerçek hareketi soldan sağa doğru gerçekleşmektedir. Ancak berber direğinin üzerindeki renkli şeritler, direğin aşağıdan yukarıya doğru hareket ettiğinin algılanmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla berber direğinin gerçek hareketi ile optik akışı birbiri ile uyumlu değildir.

Optik akışı hesaplamak için tek başına yeterli olmayan optik akış kısıtlama denklemindeki belirsizlik sorununun giderilmesi için Horn&Schunck tarafından “yumuşatma kısıtlaması” ileri sürülmüştür.



Şekil 3.10. (a) Berber direği [93]; (b) Berber direğinin optik akışı [94]

Yumuşatma kısıtlamasına göre bir görüntüde aynı nesne üzerindeki komşu noktalar (komşu pikseller) benzer hareketler gösterirler ve yavaş yavaş değişen benzer hızlara sahiptirler. Dolayısıyla komşu piksellerin hız vektörleri benzerdir ve bir görüntüdeki parlaklık paternlerinin hız vektörleri hemen hemen her yerde düzgün bir şekilde değişmektedir. Akışın kesintiye uğradığı yerlerde ise bir nesnenin başka bir nesneyi engellemesi söz konusudur [95]. Buna göre görüntüdeki piksellerin sahip oldukları

optik akış vektörleri görüntü boyunca çok az değişmektedir. Yani görüntü boyunca yumuşak bir akış ve düzgün bir vektör alanı söz konusudur. Teorik olarak görüntüdeki bir nesnenin hareketi boyunca her noktasında aynı hız vektörü oluşur. Ancak görüntünün gürültüye maruz kalması veya nicemleme işlemlerinden kaynaklanan nedenlerle cisim üzerindeki hız vektörlerinde küçük değişimler meydana gelebilir. Bulunacak optik akış vektörleri bu değişimi minimum seviyeye indirmelidir. Buna göre optik akış vektörlerinin gradyanlarının kareleri toplamını minimize eden yumuşaklık kısıtlama ifadesi aşağıda verilmiştir;

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \quad (3.10)$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \quad (3.11)$$

Bununla birlikte yumuşaklığın bir ölçüsü olarak optik akış vektörlerinin x ve y bileşenlerinin Laplasyenlerinin karelerinin toplamı da alınabilir.

$$\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3.12)$$

$$\nabla^2 v = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \quad (3.13)$$

(3.12) ve (3.13) eşitliklerindeki u ve v 'ye ait Laplasyen ifadeleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\nabla^2 u = (\bar{u}_{i,j,k} - u_{i,j,k}) \quad (3.14)$$

$$\nabla^2 v = (\bar{v}_{i,j,k} - v_{i,j,k}) \quad (3.15)$$

Elde edilecek optik akış ile ilgili olarak;

- 1- Nicemleme hataları ve gürültü, görüntü parlaklık değerlerini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla optik akış kısıtlama denkleminin sıfıra eşit olması beklenmemektedir. Ancak bu denklemde optik akış vektörünün, hataların toplamını minimize etmesi gerekmektedir. Yani optik akış kısıtlama hatası

minimum olmalıdır. (3.16) eşitliğinde optik akış kısıtlama hatası ε_b ile gösterilmektedir.

$$\varepsilon_b = I_x u + I_y v + I_t \quad (3.16)$$

2- Yumuşatma kısıtlamasına göre, benzer hareketler göstermeleri nedeniyle komşu piksellerin hız vektörleri yavaş yavaş değişiklik gösteren benzer hızlara sahiptir. Komşu piksellerin hız vektörleri arasındaki farkın artması, optik akış hız vektöründeki hata miktarını artırır. Bu nedenle komşu piksellerin hız vektörleri arasındaki farkların minimum olması gerekir. Bu durum, optik akış hız vektörünün gradyanlarının karelerinin toplamının minimize edilmesi ile ifade edilebilir. Buna göre hız akışında yumuşatma için hata miktarı, (3.17) eşitliği ile hesaplanır.

$$\varepsilon_c^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \quad (3.17)$$

(3.16) ve (3.17) eşitliklerinden toplam hata denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir;

$$\varepsilon^2 = \iint_{\text{görüntü}} (\alpha^2 \varepsilon_c^2 + \varepsilon_b^2) dx dy \quad (3.18)$$

$$\varepsilon^2 = \iint_{\text{görüntü}} \left[\alpha^2 \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \right) + (I_x u + I_y v + I_t)^2 \right] dx dy \quad (3.19)$$

$$\varepsilon^2 = \iint_{\text{görüntü}} [\alpha^2 (|\nabla u|^2 + |\nabla v|^2) + (I_x u + I_y v + I_t)^2] dx dy \quad (3.20)$$

Hesaplanacak olan (u, v) optik akışının (3.20) eşitliğini minimize etmesi gerekmektedir. Bu eşitliklerdeki α ağırlık faktörünün, gürültüyle doğru orantılı bir hata değerinin söz konusu olacağı dikkate alınarak seçilmesi önemlidir. (3.20) eşitliğinde $\nabla^2 u = u_{xx} + u_{yy}$ ve $\nabla^2 v = v_{xx} + v_{yy}$ ifadeleri yerlerine yazılırsa;

$$I_x^2 u + I_x I_Y v + I_x I_t = \alpha^2 \nabla^2 u \quad (3.21)$$

$$I_y^2 v + I_x I_Y u + I_y I_t = \alpha^2 \nabla^2 v \quad (3.22)$$

(3.21) ve (3.22) eşitliklerinde $\nabla^2 u \approx \bar{u} - u$ ve $\nabla^2 v \approx \bar{v} - v$ eşitlikleri yerlerine yazılırsa;

$$(\alpha^2 + I_x^2)u + I_x I_Y v = (\alpha^2 \bar{u} - I_x I_t) \quad (3.23)$$

$$(\alpha^2 + I_y^2)v + I_x I_Y u = (\alpha^2 \bar{v} - I_y I_t) \quad (3.24)$$

(3.23) ve (3.24) eşitliklerinde u ve v bir tarafa çekilirse;

$$(\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2)u = (\alpha^2 + I_y^2)\bar{u} - I_x I_Y \bar{v} - I_x I_t \quad (3.25)$$

$$(\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2)v = -(\alpha^2 + I_y^2)\bar{v} - I_x I_Y \bar{u} - I_y I_t \quad (3.26)$$

u ve v , (3.25) ve (3.26) eşitliklerinden aşağıdaki şekilde elde edilir;

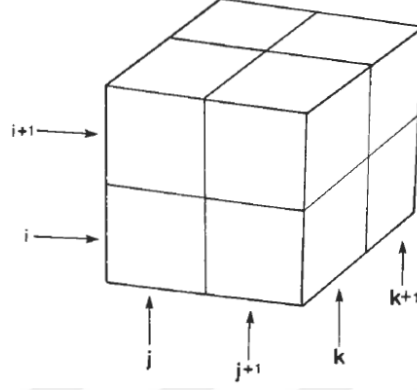
$$u = \frac{(\alpha^2 + I_y^2)\bar{u} - I_x I_Y \bar{v} - I_x I_t}{(\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2)} \quad (3.27)$$

$$v = \frac{-(\alpha^2 + I_y^2)\bar{v} - I_x I_Y \bar{u} - I_y I_t}{(\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2)} \quad (3.28)$$

Kısmi türevlerin hesaplanması ve Laplasyen formundaki ifadeler:

Parlaklık türevlerini mevcut görüntü parlaklık ölçümleri üzerinden sayısal olarak hesaplamak da mümkündür. Bunun için 8 ölçümden oluşan bir küpün merkezindeki bir noktadan E_x , E_y ve E_t hesaplamaları yapılabilir. Küpün merkezindeki görüntü parlaklığının kısmi türevlerinin her biri, küpteki bitişik parlaklık ölçümleri üzerinden

alınan farkların ortalamasıdır. Şekil 3.11’de E_x , E_y ve E_t hesaplamaları için kullanılan küp görülmektedir. Küp üzerindeki i alt indisi y doğrultusuna, j alt indisi x doğrultusuna ve k alt indisi zaman eksenine (t) karşılık gelmektedir [95].



Şekil 3.11. E_x , E_y ve E_t hesaplamaları için kullanılan küp yöntemi [95]

$$E_x \approx \frac{1}{4} \{ E_{i,j+1,k} - E_{i,j,k} + E_{i+1,j+1,k} - E_{i+1,j,k} + E_{i,j+1,k+1} - E_{i,j,k+1} + E_{i+1,j+1,k+1} - E_{i+1,j,k+1} \} \quad (3.29)$$

$$E_y \approx \frac{1}{4} \{ E_{i+1,j,k} - E_{i,j,k} + E_{i+1,j+1,k} - E_{i,j+1,k} + E_{i+1,j,k+1} - E_{i,j,k+1} + E_{i+1,j+1,k+1} - E_{i,j+1,k+1} \} \quad (3.30)$$

$$E_t \approx \frac{1}{4} \{ E_{i,j,k+1} - E_{i,j,k} + E_{i+1,j,k+1} - E_{i+1,j,k} + E_{i,j+1,k+1} - E_{i,j+1,k} + E_{i+1,j+1,k+1} - E_{i+1,j+1,k} \} \quad (3.31)$$

u ve v 'nin Laplasyen formundaki ifadeleri ise şöyle ifade edilir;

$$\nabla^2 u \approx (\bar{u}_{i,j,k} - u_{i,j,k}) \quad (3.32)$$

$$\nabla^2 v \approx (\bar{v}_{i,j,k} - v_{i,j,k}) \quad (3.33)$$

Bu ifadelerdeki \bar{u} ve \bar{v} , sırasıyla u ve v 'nin yerel ortalamalarını temsil etmektedir. \bar{u} ve \bar{v} şöyle hesaplanır;

$$\bar{u}_{i,j,k} \approx \frac{1}{6} \{u_{i-1,j,k} + u_{i,j+1,k} + u_{i+1,j,k} + u_{i,j-1,k}\} + \frac{1}{12} \{u_{i-1,j-1,k} + u_{i-1,j+1,k} + u_{i+1,j+1,k} + u_{i+1,j-1,k}\} \quad (3.34)$$

$$\bar{v}_{i,j,k} \approx \frac{1}{6} \{v_{i-1,j,k} + v_{i,j+1,k} + v_{i+1,j,k} + v_{i,j-1,k}\} + \frac{1}{12} \{v_{i-1,j-1,k} + v_{i-1,j+1,k} + v_{i+1,j+1,k} + v_{i+1,j-1,k}\} \quad (3.35)$$

İteratif Çözüm:

Horn&Schunck yöntemiyle optik akışın sayısal değerinin hesaplanmasında iteratif Gauss – Siedel yönteminden faydalanılır. Buna göre her bir iterasyondaki optik akış vektörü şöyle hesaplanır;

$$u^{n+1} = u^{-n} - I_x \frac{I_x u^{-n} + I_y v^{-n} + I_t}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (3.36)$$

$$v^{n+1} = v^{-n} - I_y \frac{I_x u^{-n} + I_y v^{-n} + I_t}{\alpha^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (3.37)$$

Bu açıklamalara göre bir videonun hareket bilgisi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanabilir [71];

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{\text{çerçeve sayısı}} \Pi(i)}{\text{çerçeve sayısı}} \cdot \frac{F}{S} \quad (3.38)$$

(3.38) eşitliğinde M , bir video dizisindeki hareket bilgisidir. $\Pi(i)$, video dizisindeki i . çerçevenin hareket yoğunluğu, F ve S ise sırasıyla çerçeve hızı ve uzamsal çözünürlüktür.

Bir çerçevedeki hareket yoğunluğu, çerçevenin uzamsal çözünürlüğü ile doğru, zamansal çözünürlüğü ile ise ters orantılıdır. Bunun nedeni, çerçevenin uzamsal

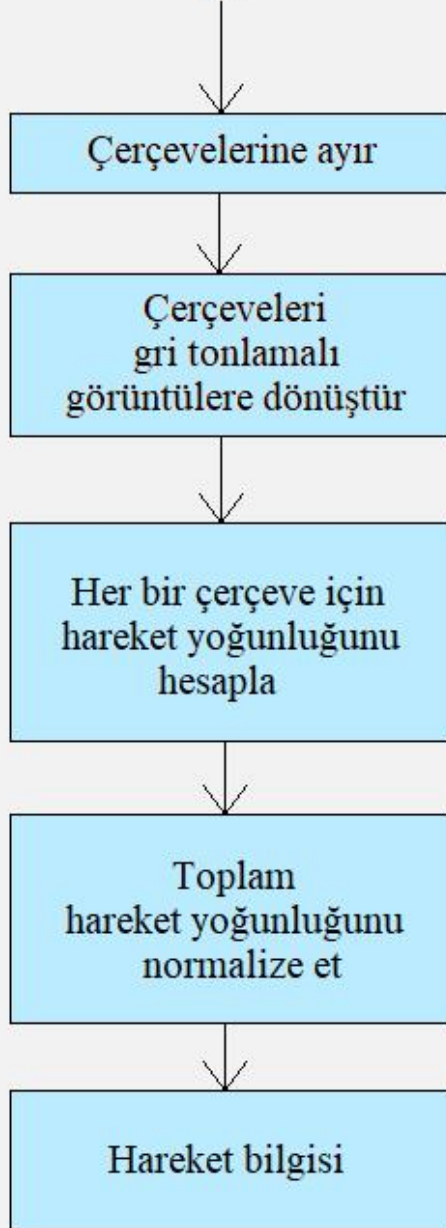
çözünürlüğü ne kadar yüksek olursa, çerçevenin hareket yoğunluğunun da o kadar yüksek olmasıdır. Ayrıca, video dizilerinin çerçeve hızı ne kadar yüksek olursa çerçeve hareket yoğunluğu da düşer [96]. Hareket yoğunluğu aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır [71];

$$\Pi (i) = \sum_{d=1}^n |MV_d(x_i, y_i)| \quad (3.39)$$

(3.39) eşitliğinde $\Pi (i)$, video dizisindeki i . çerçevenin hareket yoğunluğu, d ve n ise sırasıyla bir özellik noktası ve çerçevedeki özellik noktalarının sayısıdır. $MV_d (x_i, y_i)$, d özellik noktasındaki i . çerçevenin hareket vektörüdür. Şekil 3.12’de hareket bilgisi algoritması akış diyagramı yer almaktadır.



2B



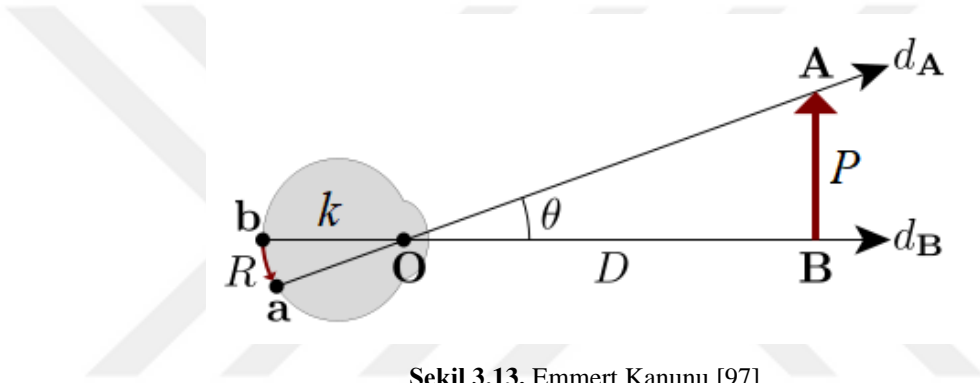
Şekil 3.12. Hareket bilgisi hesaplama algoritması akış şeması

3.3. DH'ler İçin Geliştirilen Ölçüm Teknikleri

Bu alt bölümde DH'ler için geliştirilen ağ katmansal görüntü boyutu ve yakınsama ölçüm teknikleri sırasıyla anlatılacaktır.

3.3.1. Ağ Katmansal Görüntü Boyutu (Retinal Image Size – RIS)

Ağ katmansal görüntü boyutu, gerçek boyutu bilinen bir nesnenin göz tarafından algılanan boyutu dikkate alınarak izleyiciye olan uzaklığının tahmin edilmesi ile elde edilir. Bu tahmin işlemi Emmert Kanunu ile açıklanmaktadır.



Şekil 3.13. Emmert Kanunu [97]

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere Emmert Kanununa göre [98] [99];

$$P \times k = R \times D \quad (3.40)$$

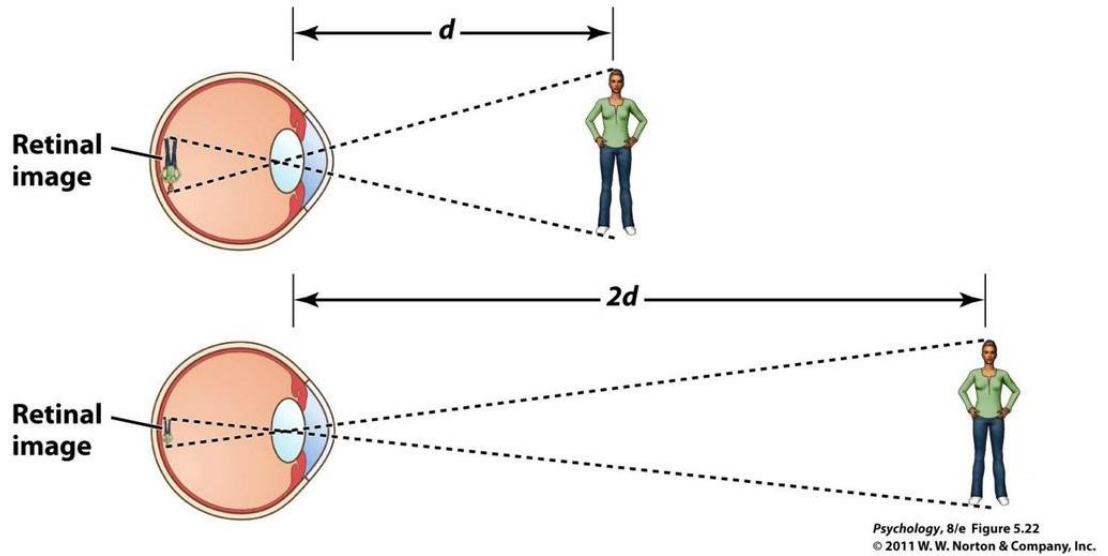
Burada P nesnenin boyu (metre), D nesnenin göze olan mesafesi (metre), k göz mesafesi (metre) ve R nesnenin ağ katman (retina) üzerinde oluşan görüntüsünün boyudur (metre). Ancak k parametresinin D 'ye göre çok küçük olması nedeniyle (3.40) eşitliğindeki k parametresi ihmal edilebilir. Buna göre (3.40) eşitliği;

$$P = R \times D \quad (3.41)$$

halini alır. (3.41) eşitliğindeki P , R ve D parametrelerinin özellikleri aşağıdaki şekildedir;

- Nesnenin boyu (P) sabittir, değişmemektedir,
- Nesnenin ağ katman üzerinde oluşan görüntüsünün boyu (R) bilinmemektedir ve nesnenin göze olan mesafesine göre değişmektedir,
- Nesnenin göze olan mesafesi (D) değişkendir, nesnenin izleyiciye yaklaşır uzaklaşmasına bağlı olarak değişir.

(3.41) eşitliğindeki P değeri sabit olduğundan D değeri arttığında R değerinin azalması, D değeri azaldığında ise R değerinin artması söz konusudur. Bir başka ifadeyle, nesnenin boyu sabit olduğundan derinlik arttığında (nesne izleyiciden uzaklaştığında) ağ katmansal görüntü boyutu azalır ve nesne izleyici tarafından daha küçük boyutta algılanır, derinlik azaldığında (nesne izleyiciye yaklaştığında) ağ katmansal görüntü boyutu artar ve nesne izleyici tarafından daha büyük boyutta algılanır. Bu nedenle bir 3B videonun DH'sinde nesnelerin derinliğinde artış gözlenmesi halinde nesnelerin izleyiciden uzaklaştığı, dolayısıyla ağ katmansal görüntü boyutunun küçüldüğü anlaşılır. Şekil 3.14'te ağ katmansal görüntü boyutunun değişimi görülmektedir.



Şekil 3.14. Nesneye olan mesafeye göre ağ katmansal görüntü boyutunun değişimi [100]

Buna göre bir DH'nin bütün çerçeveleri boyunca derinlik değerlerinde meydana gelecek değişim, bize ağ katmansal görüntü boyutunun değişimi hakkında bilgi verir. DH'deki değişim, tüm derinlik pikselleri dikkate alınarak ortalama mutlak sapma yöntemi ile hesaplanmaktadır. Ortalama mutlak sapma değerinin hesaplanmasıyla derinlik piksellerinin nesnelere ortalama derinlik değerinden ne kadar sapma gösterdikleri (uzaklaştıkları) anlaşılmaktadır. Her bir çerçeve için bulunan ortalama mutlak sapma değerleri toplandıktan sonra elde edilen toplam mutlak sapma değeri üzerinden ağ katmansal görüntü boyutunun farklı uzamsal çözünürlüklerdeki ve farklı NP'lerdeki değişimi gözlemlenebilir.

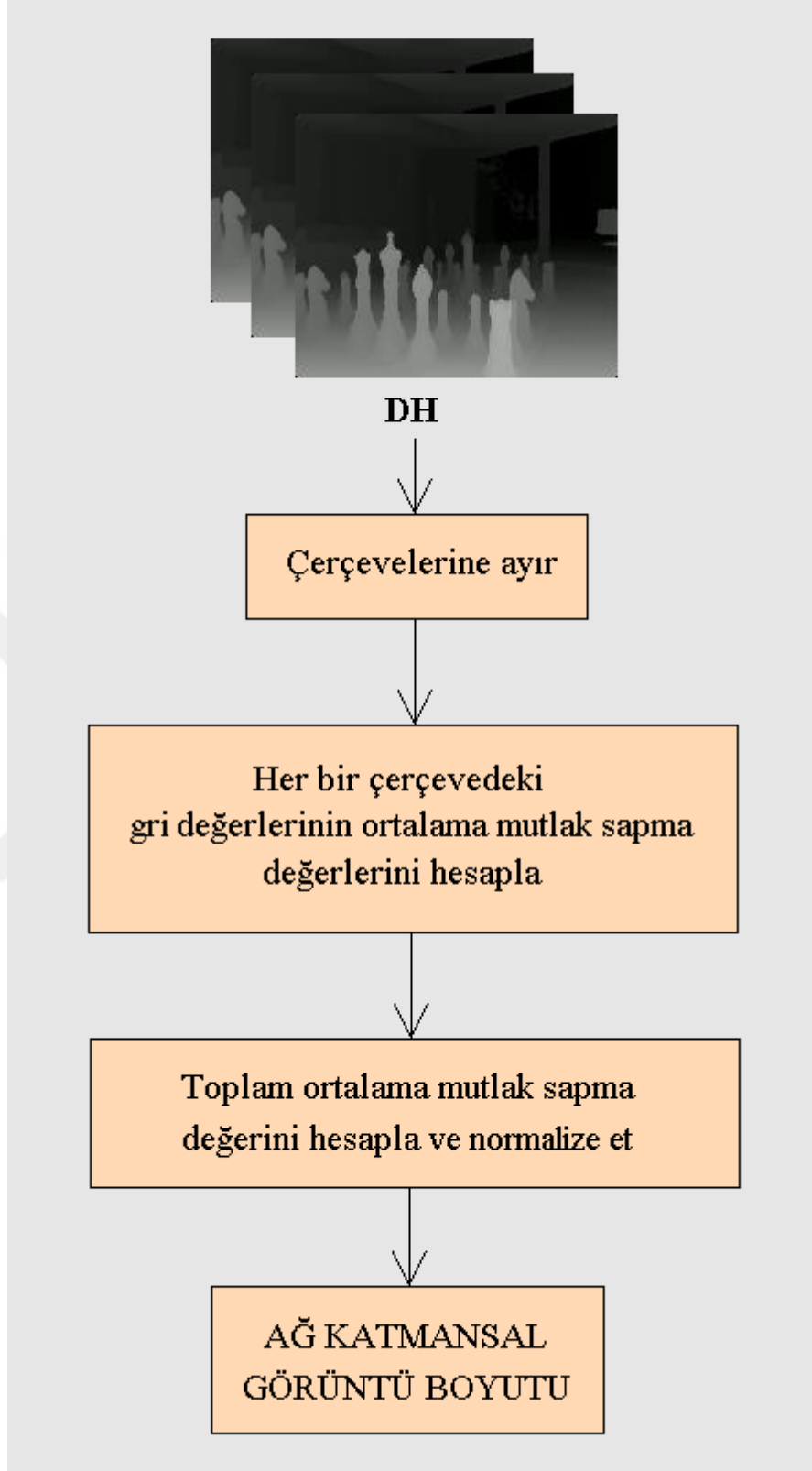
Yapılan açıklamalar formülize edildiğinde DH'nin tüm çerçevelerinden ortalama mutlak sapma değeri;

$$DerinlikMAD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |X_{i,j} - X_{ort}|}{m \times n} \quad (X_{i,j} > 0 \text{ olmak üzere}) \quad (3.42)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. (3.42) eşitliğinden toplam mutlak sapma değeri;

$$VideoDerinlikMAD = \sum_{k=1}^{çerçeve \text{ sayısı}} DerinlikMAD(k) \quad (3.43)$$

olarak bulunmuştur. Elde edilen toplam mutlak sapma değeri, ağ katmansal görüntü boyutu hakkında bilgi vermektedir. Şekil 3.15'te geliştirilen ağ katmansal görüntü boyutu algoritması akış diyagramı yer almakta olup şekilden de görüleceği üzere öncelikle derinlik haritası çerçevelerine ayrılmaktadır. Ardından her bir çerçevenin gri değerlerinden ortalama mutlak sapma değeri hesaplanır. Ortalama mutlak sapma değerleri toplanıp normalize edilerek ağ katmansal görüntü boyutu ölçümü elde edilir.

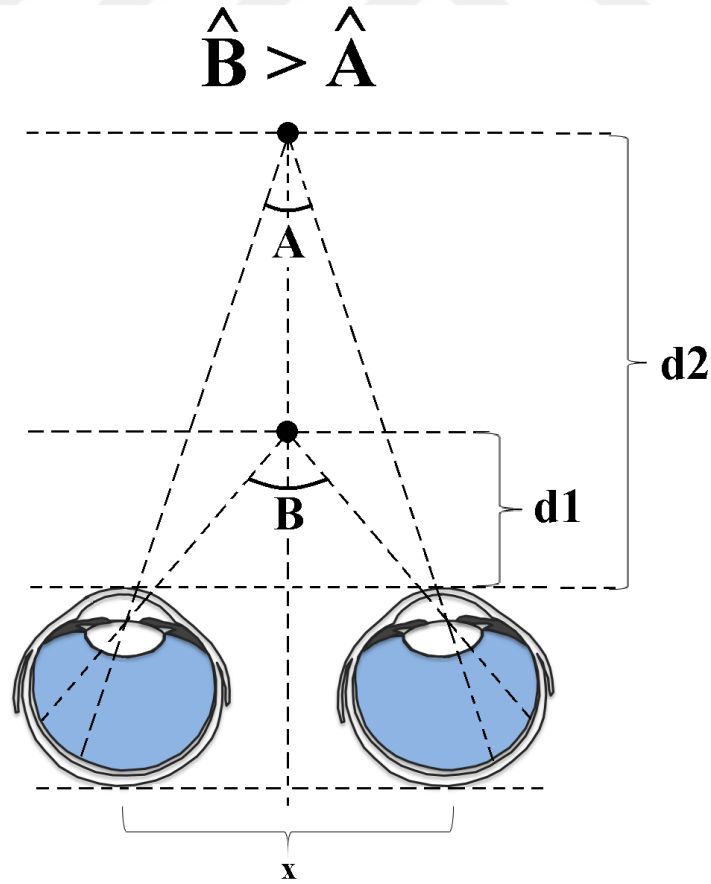


Şekil 3.15. Geliştirilen ağ katmansal görüntü boyutu algoritması akış diyagramı

3.3.2. Yakınsama (Convergence – CONV)

Göze yaklaşan nesnelerin daha büyük açı ile görülmesi yakınsama olarak açıklanmaktadır. Şekil 3.16’da görüldüğü gibi nesnelere göze yaklaştıkça gözün nesneyi görme açısı büyür. Bu nedenle yakınsama, izleyicideki derinlik algısını doğrudan artıran bir etkidir. Yakınsamanın aksine nesnenin gözden uzaklaşması halinde ise gözün nesneyi görme açısı küçülür. Bu durum ıraksama (divergence) olarak adlandırılır. İraksama, izleyicideki derinlik algısını azaltan bir etkidir [101] [102] [103].

Bir DH’den yakınsama ile ilgili veri elde edebilmek için yakınsama olayının geometrik olarak incelenmesi gerekmektedir. Bir nesne göze yaklaştıkça gözün nesneyi görme açısı büyümektedir ($\hat{B} > \hat{A}$). Bu durumda uzaklaşan bir nesneye ilişkin görme açısı ise küçülecektir [103]. Şekil 3.16’da noktasal bir nesnenin yakınsaması ele alınmıştır.



Şekil 3.16. Yakınsama olayı [104]

Şekil 3.16'ya göre, göze yakın olan nesnenin göze olan mesafesi $d1$ ve göze uzak olan nesnenin göze olan mesafesi $d2$ olarak ifade edilecek olursa, izleyicinin nesneyi görme açıları (\hat{A} ve \hat{B}) aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\hat{A} = 2 \tan^{-1} \frac{x/2}{d2} \quad (3.44)$$

$$\hat{B} = 2 \tan^{-1} \frac{x/2}{d1} \quad (3.45)$$

(3.44) ve (3.45) eşitlikleri dikkate alınarak görme açısının hesaplanmasına ilişkin daha genel bir eşitlik şöyle yazılabilir;

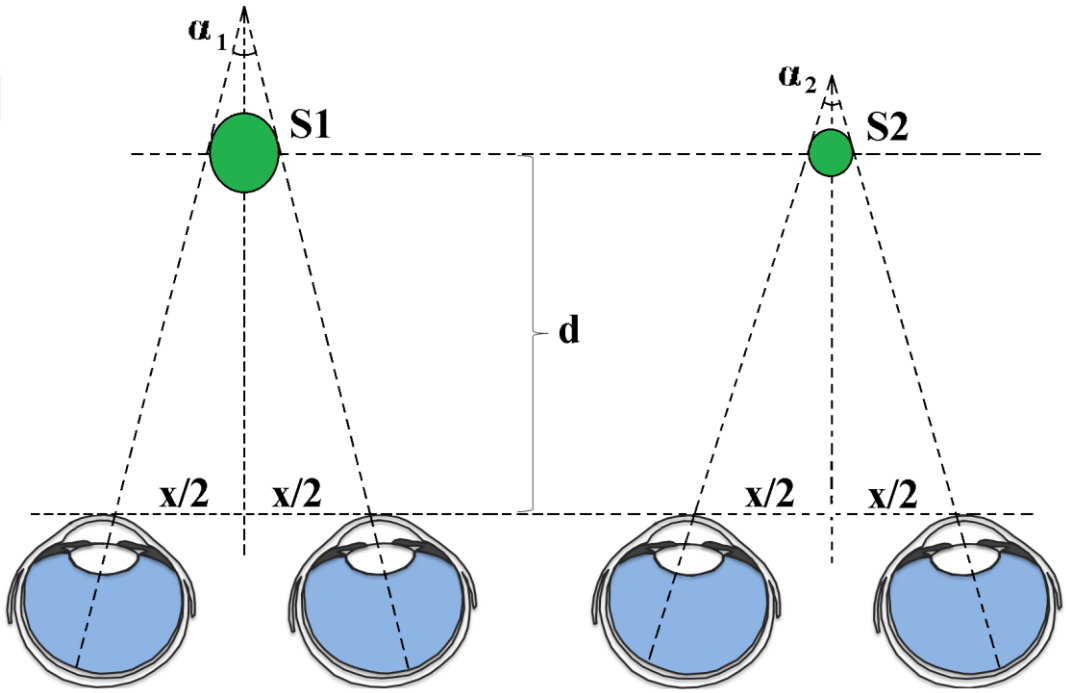
$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{x/2}{d} \quad (3.46)$$

Burada α , görme açısı; x , iki göz arasındaki mesafe ve d , nesnenin göze olan uzaklığıdır. İki göz arasındaki x sabit mesafesi 65 mm olarak kabul edilmektedir [105] [106].

Yakınsama, göze yaklaşan nesnenin daha yakında olduğunun algılanması olarak ifade edilse de bu açıklama, noktasal olmayan ve göze olan mesafesi sabit olan bir nesneyle ilgili olarak, derinlik algısının birbirinden farklılık gösterdiği farklı uzamsal çözünürlüklerdeki DH'ler için yakınsama olayını açıklamaya yetmemektedir.

Noktasal nesneden farklı olarak belirli bir hacme ve yüzey alanına sahip nesnelere için yukarıda açıklanan geometrik analizi biraz daha derinleştirmek gerekmektedir. Göze aynı uzaklıkta konumlandırılmış ancak hacmi ve yüzey alanları birbirinden farklı olan nesnelere için görme açıları farklılık arz eder. Örneğin Şekil 3.17'de görüldüğü gibi hacimleri ve yüzey alanları ($S1$ ve $S2$) birbirinden farklı küre şeklindeki iki nesne sırasıyla göze aynı mesafedeki bir noktada konumlandırılarak her bir nesne için görme açısının hesaplanması istensin. $S1 > S2$ olması halinde $S1$ yüzey alanına sahip nesneye

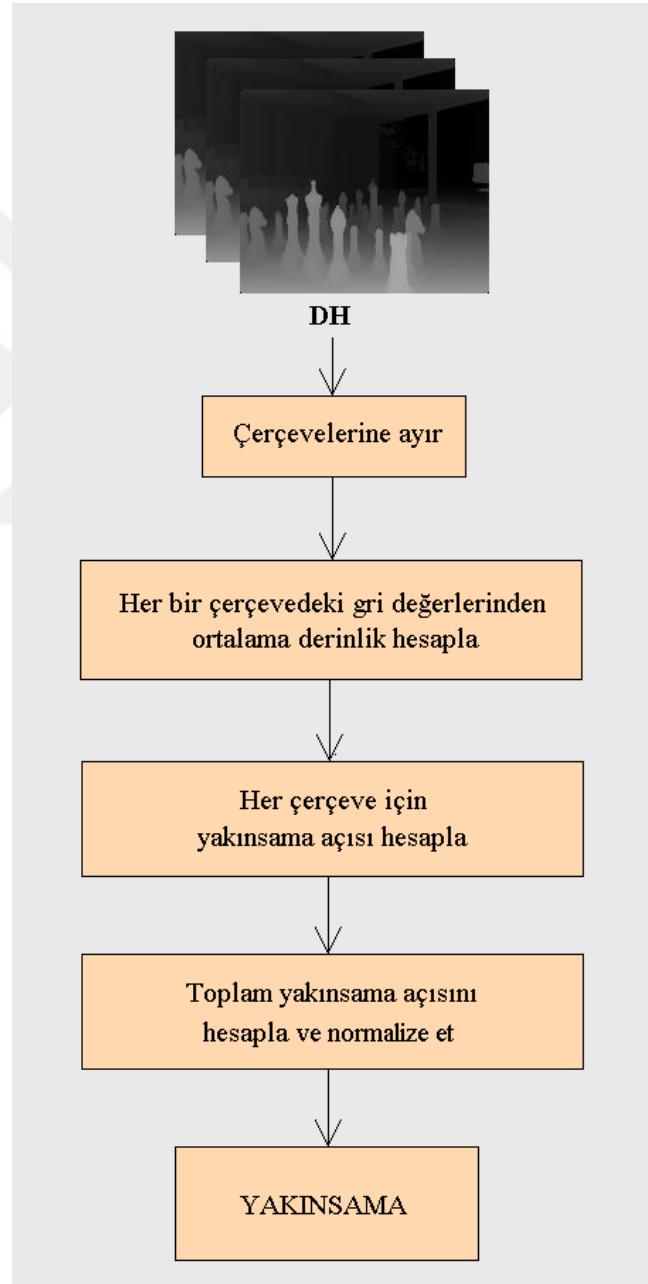
ilişkin görme açısı, $S2$ yüzey alanına sahip nesneye ilişkin görme açısından küçük olacaktır ($\alpha_1 < \alpha_2$). Bu durum, uzamsal çözünürlükleri farklı DH'ler için de benzerlik gösterir. Örneğin uzamsal çözünürlüğü SD olan DH'de d derinliğinde konumlanmış $S1$ yüzey alanına sahip bir nesne (küre), uzamsal çözünürlüğü CIF olan DH'de yine d derinliğinde konumlanacak, ancak uzamsal çözünürlüğün düşmesi nedeniyle yüzey alanı daha küçük algılanacaktır ($S1 > S2$). Bu durumda $S1$ alanının $S2$ alanından büyük olması nedeniyle uzamsal çözünürlüğü SD olan DH'deki görme açısı (α_{SD}), CIF videodaki görme açısından (α_{CIF}) daha küçük olmaktadır.



Şekil 3.17. Farklı yüzey alanlarına sahip nesnelerin yakınsaması [104]

Buna göre, belli bir uzamsal çözünürlükteki DH kendi başına değerlendirildiğinde izleyiciye yaklaşan nesnelere ilişkin görme açısı büyümektedir, dolayısıyla yakınsama artmaktadır. Bununla birlikte aynı renkli videoya ait olan ancak birbirinden farklı uzamsal çözünürlüklere sahip DH'ler birlikte değerlendirildiğinde, uzamsal çözünürlük SD'den QCIF'e doğru azaldıkça nesnelerin esasen izleyiciye olan mesafeleri değişmemesine rağmen boyutları azalacağından izleyiciden daha uzakta algılandıkları, bu nedenle uzamsal çözünürlüğü QCIF olan DH'deki görme açısının artacağı, ancak uzamsal çözünürlüğü SD olan DH'nin yakınsamasının daha fazla

olacağı, dolayısıyla bu durumun derinlik algısını azalttığı anlaşılmaktadır. Bu açıklamalar ışığında geliştirilen yakınsama ölçüm algoritması akış diyagramı Şekil 3.18’de yer almakta olup şekilden de görüleceği üzere yakınsama ölçümünün alınabilmesi için ilk olarak DH videolar çerçevelerine ayrılmıştır. Ardından her bir derinlik haritası çerçevesinden ortalama derinlik hesaplanmıştır. Daha sonra her bir derinlik haritası çerçevesi için elde edilen yakınsama açıları toplanıp normalize edilerek yakınsama ölçümü elde edilmiştir.



Şekil 3.18. Geliştirilen yakınsama algoritması akış diyagramı

3.4. Öznel Testlerin Gerçekleştirilmesi

3B videoların nesnel olmayan, yani algılanması kişiden kişiye değişiklik gösterebilen derinlik, doğallık gibi bazı özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle literatürde 3B videolar için araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan bir nesnel Video Kalite Değerlendirme (VKD) metriği bulunmamaktadır. Dolayısıyla 3B videoların VKD'leri öznel testler vasıtasıyla yapılmaktadır.

Ancak öznel testlerin bazı sakıncaları vardır. Bunlar;

- Test koşullarının sağlanması zordur. Testin gerçekleştirileceği ortamın düzenlenmesi ve belirli sayıda izleyicinin teste katılımının sağlanması gerekmektedir.
- Eğitilmiş izleyici bulması zordur. Bu yüzden her seferinde katılımcıların test hakkında yeterince bilgilendirilmeleri gerekmektedir.
- Maliyeti yüksektir.
- Oldukça fazla zaman almaktadır.
- Testlerden nesnel değerlendirme sonuçlarının çıkarılabilmesi için farklı izleyicilerinin izlenimlerinin ortalamasının alınması gerekmektedir. Bu nedenle nesnel değerlendirme sonuçlarının hesaplanmasında Ortalama Görüş Puanı (OGP) (Mean Opinion Score – MOS) yöntemi kullanılır.

Bu çalışmada önerilen adaptasyon karar alma algoritması geliştirilirken 3B videolar kullanılarak gerçekleştirilen öznel testlerin özellikleri şunlardır;

- Testlerin öncesinde katılımcılar testin özellikleri ve puanlama hakkında yeterince bilgilendirilmişlerdir. Testlere katılan gözlemcilerin 3B videolar ile ilgili uzmanlıkları bulunmamaktadır. Gözlemciler otostereoskopik ekrandan 3 metre uzağa oturarak teste katılmışlardır. Testler hep aynı test ortamında gerçekleştirilmiştir.
- 3B videoları oluşturmak için her bir kodlanan 2B video ile aynı boyuttaki DH'ler birleştirilmiştir.

- Testler sırasında kalite değerlendirmesi için Tekli Uyarıcı Sürekli Kalite Değerlendirmesi (TUSKD) (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation – SSCQE) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre video içeriğinin karakteristiğine göre kalite bozulması da farklılık gösterir. Gözlemciler orijinal bir 3B videoyu referans almadan sadece kodlanmış 3B videonun kalitesini, derinlik algısını ve genel 3B video kalitesini (kalite ve derinlik algısı birlikte) ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeyi yaparken gözlemciler daha önceki deneyimlerinden faydalanmışlardır.
- Gözlemcilere test videolarının sırası, kodlama parametreleri ve özellikleri hakkında bir bilgi verilmemiştir. Gözlemcilerin verdikleri değerlendirme puanları 1 ile 5 arasında değişmektedir. 5 puan algının en yüksek seviyede olduğunu 1 puan ise en düşük seviyede olduğunu göstermektedir.
- ITU-R BT. 500-13 standardına [107] dayanarak tüm test sonuçlarında aykırı değerler elde edilmiştir. Böylece teste katılan 23 gözlemciden 2'sinin sonuçları aykırı sonuçlar olarak belirlenmiştir. Geriye kalan 21 gözlemcinin test sonucu adaptasyon karar alma algoritmasının geliştirilmesinde kullanılacak olan OGP hesaplanmasında kullanılmıştır.

3.5. C ve D Ağırlık Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Uzamsal çözünürlüğe bağlı 3B video adaptasyonunda adaptasyon kararı almada kullanılmak üzere belirlenecek FF'de sırasıyla renkli videolar için hesaplanan C ağırlığı, bulanıklık ve hareket bilgisinin; DH'ler için hesaplanan D ağırlığı ise ağ katmansal görüntü boyutu ve yakınsama özelliklerinin birer fonksiyonudur. Dolayısıyla C ve D ağırlık fonksiyonları için;

$$C = f(BL, MI) \quad (3.47)$$

$$D = f(CONV, RIS) \quad (3.48)$$

eşitlikleri yazılabilir. C ve D değerleri ile öznel testlerden elde edilen OGP'nin korelasyonunun yeterli seviyede olması önem arz etmektedir. Bu nedenle C ve D

ağırlık fonksiyonlarının olabildiğince uygun belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada C ve D ağırlık fonksiyonlarının belirlenmesi için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinin yöntemlerinden birisi olan Pearson korelasyon analizinin kullanıldığı bu çalışmada, renkli videolar ve ilişkili DH'ler için ayrı ayrı yapılan öznel testlerden elde edilen OGP değerleri ile yeterli seviyede yüksek korelasyonu olan C ve D ağırlıklarına ilişkin C ve D ağırlık fonksiyonları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

$$C = MI \times BL \quad (3.49)$$

$$D = RIS \times CONV \quad (3.50)$$

3.6. FF'nin Belirlenmesi

3B videolarda izleyicinin derinlik algılamadaki tatmininin ön planda olması gerekmektedir. Bu nedenle kullanılacak FF'de izleyicide derinlik algısını etkileyen unsurların dikkate alınmasının gerekliliği kaçınılmazdır. Bununla birlikte bu çalışmaya özgü olarak uzamsal çözünürlük ve bit hızı unsurlarının da FF'de yerini alması gerekmektedir. Bu nedenle, adaptasyon kararı almada kullanılacak olan FF;

$$FF = k. (C. B_c. S_c + D. B_d. S_d) \quad (3.51)$$

olarak belirlenmiştir. (3.51) eşitliğinde BL ve MI , 2B videolardan elde edilen bulanıklık ve hareket bilgisi değerlerini; RIS ve $CONV$ ise DH'lerden elde edilen ağ katmansal görüntü boyutu ve yakınsama değerlerini temsil etmektedir. k sabit katsayı bileşeni, OGP değerleri ile yüksek korelasyon göstermesi nedeniyle $\frac{1}{75 \times 10^5}$ olarak belirlenmiştir. Yanı sıra (3.51) eşitliğinde yer alan C ve D , sırasıyla 2B videolara ve DH'lere ait ağırlık değerlerini; S_c ve S_d sırasıyla 2B videoların ve DH'lerin uzamsal çözünürlüklerini; B_c ve B_d ise sırasıyla 2B videoların ve DH'lerin bit hızlarını temsil etmektedir. Görüldüğü üzere S_c ve S_d uzamsal çözünürlüklerinin birbirinden farklı seçilmesiyle farklı 3B video kombinasyonları için fayda değerlerinin hesaplanabilmesi mümkündür.

3.7. Adaptasyon Kararının Alınması

Adaptasyon kararının alınabilmesi için öncelikle bazı kısıtlamaların (koşulların) getirilmesi gerekmektedir. Adaptasyon kararı alma işleminin hedefi, adaptasyon parametrelerini belirlemek amacıyla, belirli kısıtlamalar altında hangi 3B video parametrelerinin seçilmesinin uygun olduğunun belirlenmesidir.

Bu çalışmada adaptasyon kararı alma işleminde çözülecek optimizasyon problemi aşağıdaki gibidir;

Maksimumu seç:

$$\{ FF = k.(C.B_c.S_c + D.B_d.S_d) \}$$

Kısıtlamalar:

$$\{ \text{Bit oranı} \leq \text{Hedef band genişliği} \}$$

$$\{ \text{Renkli video genişliği} \leq \text{Hedef ekran genişliği} \}$$

$$\{ \text{Renkli video uzunluğu} \leq \text{Hedef ekran uzunluğu} \}$$

$$\{ \text{Derinlik haritası genişliği} \leq \text{Hedef ekran genişliği} \}$$

$$\{ \text{Derinlik haritası uzunluğu} \leq \text{Hedef ekran uzunluğu} \}$$

Bu çalışmada önerilen adaptasyon kararının alınması işleminde ilk olarak farklı NP'lerle kodlanmış ve farklı 2B+DH uzamsal çözünürlük kombinasyonlarına sahip 3B videolar için FF'ler hesaplanır. Sonrasında FF'leri hesaplanan bu videoların sırasıyla bit oranları, genişlikleri ve uzunlukları için yukarıda belirtildiği şekilde kısıtlamalar getirilir. Böylece FF'leri hesaplanan tüm videolardan geriye sadece bu kısıtlama koşullarını sağlayanlar kalır. Sonrasında da kalan videolardan maksimum FF'lere sahip olanların uzamsal çözünürlük parametreleri seçilerek adaptasyon kararı alma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu karar alma işlemi sonrasında da seçilen parametrelere sahip renkli video ve DH'ler adaptasyon işleminde kullanılırlar.

4. BULGULAR

Uzamsal çözünürlüğe bağlı 3B video adaptasyonunun gerçekleştirildiği bu tez çalışmasında, öncelikle derinlik algısıyla ilişkili işlenebilir parametreler elde etmek amacıyla, kullanılan renkli videolardan bulanıklık ve hareket bilgisi; söz konusu renkli videolara ait DH'lerden ise ağ katmansal görüntü boyutu ve yakınsama ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümler sonucunda elde edilen bulgular şöyledir;

4.1. Bulanıklığa İlişkin Bulgular

Çizelge 4.1'de geliştirilen algoritma ile elde edilen bulanıklık ölçüm sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Bulanıklık ölçüm bulguları

Video Adı	Video Boyutu	Nicemleme Parametresi				
		Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
Breakdance	Orijinal	0,260	0,259	0,258	0,256	0,236
	SD	0,258	0,258	0,257	0,255	0,253
	CIF	0,258	0,257	0,256	0,255	0,253
	QCIF	0,256	0,255	0,255	0,254	0,251
Butterfly	Orijinal	0,092	0,092	0,092	0,091	0,090
	SD	0,089	0,089	0,089	0,088	0,088
	CIF	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
	QCIF	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
Windmill	Orijinal	0,200	0,200	0,199	0,199	0,197
	SD	0,198	0,198	0,197	0,197	0,195
	CIF	0,196	0,196	0,196	0,195	0,194
	QCIF	0,192	0,192	0,192	0,192	0,191
Chess	Orijinal	0,335	0,335	0,335	0,335	0,335
	SD	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365
	CIF	0,379	0,379	0,379	0,379	0,379
	QCIF	0,378	0,378	0,378	0,378	0,379
Interview	Orijinal	0,199	0,199	0,199	0,198	0,197
	SD	0,197	0,197	0,197	0,196	0,195
	CIF	0,190	0,190	0,190	0,190	0,189
	QCIF	0,183	0,183	0,184	0,183	0,183

Çizelge 4.1. (devamı)

Advertisement	Orijinal	0,282	0,281	0,281	0,281	0,280
	SD	0,289	0,288	0,288	0,288	0,287
	CIF	0,288	0,288	0,288	0,287	0,286
	QCIF	0,286	0,286	0,285	0,285	0,285
Farm	Orijinal	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298
	SD	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
	CIF	0,296	0,296	0,296	0,296	0,296
	QCIF	0,293	0,293	0,294	0,293	0,293
Football	Orijinal	0,206	0,207	0,206	0,206	0,204
	SD	0,205	0,205	0,205	0,204	0,203
	CIF	0,202	0,202	0,202	0,202	0,201
	QCIF	0,197	0,197	0,198	0,198	0,197
Newspaper	Orijinal	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278
	SD	0,356	0,356	0,356	0,365	0,356
	CIF	0,363	0,363	0,363	0,362	0,362
	QCIF	0,362	0,362	0,362	0,362	0,361
Ballet	Orijinal	0,641	0,640	0,638	0,635	0,628
	SD	0,655	0,653	0,650	0,644	0,631
	CIF	0,656	0,654	0,650	0,645	0,632
	QCIF	0,657	0,654	0,651	0,645	0,632

4.2. Hareket Bilgisine İlişkin Bulgular

Hareket bilgisinin ölçülmesi amacıyla geliştirilen algoritmadan elde edilen hareket bilgisi ölçümleri Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Hareket bilgisi ölçüm bulguları

Video Adı	Video Boyutu	Nicemeleme Parametresi				
		Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
Breakdance	Orijinal	0,311	0,333	0,309	0,282	0,224
	SD	0,326	0,326	0,297	0,270	0,210
	CIF	0,265	0,260	0,240	0,222	0,169
	QCIF	0,216	0,214	0,203	0,187	0,143
Butterfly	Orijinal	1,610	1,627	1,596	1,520	1,426
	SD	1,673	1,687	1,656	1,581	1,478
	CIF	1,146	1,144	1,114	1,081	1,027
	QCIF	0,791	0,783	0,764	0,737	0,701

Çizelge 4.2. (devamı)

Video Adı	Video Boyutu	Nicemleme Parametresi				
		Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
Windmill	Orijinal	0,153	0,152	0,145	0,137	0,110
	SD	0,130	0,130	0,125	0,119	0,101
	CIF	0,067	0,067	0,067	0,067	0,061
	QCIF	0,035	0,036	0,036	0,036	0,033
Chess	Orijinal	0,280	0,281	0,279	0,276	0,301
	SD	0,254	0,254	0,251	0,252	0,270
	CIF	0,168	0,170	0,170	0,168	0,172
	QCIF	0,120	0,122	0,121	0,117	0,116
Interview	Orijinal	0,114	0,109	0,101	0,090	0,078
	SD	0,119	0,114	0,106	0,095	0,082
	CIF	0,066	0,064	0,061	0,057	0,050
	QCIF	0,038	0,037	0,036	0,033	0,031
Advertisement	Orijinal	0,292	0,300	0,304	0,298	0,283
	SD	0,308	0,314	0,321	0,314	0,307
	CIF	0,231	0,236	0,241	0,240	0,234
	QCIF	0,176	0,179	0,180	0,180	0,174
Farm	Orijinal	1,033	1,043	1,026	0,970	0,878
	SD	1,142	1,141	1,119	1,053	0,956
	CIF	0,767	0,767	0,755	0,723	0,661
	QCIF	0,465	0,467	0,465	0,459	0,432
Football	Orijinal	1,336	1,443	1,337	1,257	1,296
	SD	1,466	1,520	1,319	1,172	1,170
	CIF	1,271	1,271	1,043	0,856	0,812
	QCIF	0,636	0,640	0,566	0,468	0,440
Newspaper	Orijinal	0,465	0,455	0,437	0,400	0,347
	SD	0,355	0,352	0,343	0,319	0,281
	CIF	0,192	0,192	0,191	0,185	0,169
	QCIF	0,102	0,102	0,103	0,102	0,099
Ballet	Orijinal	0,247	0,265	0,255	0,221	0,203
	SD	0,248	0,239	0,232	0,210	0,190
	CIF	0,180	0,168	0,163	0,153	0,140
	QCIF	0,119	0,114	0,114	0,103	0,090

4.3. Ağ Katmansal Görüntü Boyutuna İlişkin Bulgular

Çizelge 4.3'te ağ katmansal görüntü boyutu ölçümü için geliştirilen ağ katmansal görüntü boyutu ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Ağ katmansal görüntü boyutu ölçüm bulguları

Video Adı	Video Boyutu	Nicemeleme Parametresi				
		Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
Breakdance	Orijinal	3,291x10 ⁻⁷	3,290x10 ⁻⁷	3,279x10 ⁻⁷	3,244x10 ⁻⁷	3,246x10 ⁻⁷
	SD	6,364x10 ⁻⁷	6,361x10 ⁻⁷	6,343x10 ⁻⁷	6,278x10 ⁻⁷	6,282x10 ⁻⁷
	CIF	2,520x10 ⁻⁶	2,521x10 ⁻⁶	2,513x10 ⁻⁶	2,498x10 ⁻⁶	2,501x10 ⁻⁶
	QCIF	9,979x10 ⁻⁶	9,979x10 ⁻⁶	9,939x10 ⁻⁶	9,861x10 ⁻⁶	9,893x10 ⁻⁶
Butterfly	Orijinal	6,835x10 ⁻⁸	6,857x10 ⁻⁸	6,952x10 ⁻⁸	7,076x10 ⁻⁸	7,245x10 ⁻⁸
	SD	9,518x10 ⁻⁸	9,536x10 ⁻⁸	9,600x10 ⁻⁸	9,802x10 ⁻⁸	1,005x10 ⁻⁷
	CIF	3,767x10 ⁻⁷	3,793x10 ⁻⁷	3,810x10 ⁻⁷	3,918x10 ⁻⁷	4,019x10 ⁻⁷
	QCIF	1,489x10 ⁻⁶	1,503x10 ⁻⁶	1,513x10 ⁻⁶	1,529x10 ⁻⁶	1,580x10 ⁻⁶
Windmill	Orijinal	1,232x10 ⁻⁷	1,232x10 ⁻⁷	1,235x10 ⁻⁷	1,235x10 ⁻⁷	1,254x10 ⁻⁷
	SD	1,573x10 ⁻⁷	1,582x10 ⁻⁷	1,579x10 ⁻⁷	1,578x10 ⁻⁷	1,604x10 ⁻⁷
	CIF	6,272x10 ⁻⁷	6,312x10 ⁻⁷	6,294x10 ⁻⁷	6,297x10 ⁻⁷	6,404x10 ⁻⁷
	QCIF	2,495x10 ⁻⁶	2,509x10 ⁻⁶	2,502x10 ⁻⁶	2,509x10 ⁻⁶	2,550x10 ⁻⁶
Chess	Orijinal	9,743x10 ⁻⁸	9,670x10 ⁻⁸	9,753x10 ⁻⁸	9,787x10 ⁻⁸	1,008x10 ⁻⁷
	SD	1,252x10 ⁻⁷	1,243x10 ⁻⁷	1,252x10 ⁻⁷	1,253x10 ⁻⁷	1,291x10 ⁻⁷
	CIF	5,027x10 ⁻⁷	4,996x10 ⁻⁷	5,040x10 ⁻⁷	5,025x10 ⁻⁷	5,164x10 ⁻⁷
	QCIF	2,030x10 ⁻⁶	2,009x10 ⁻⁶	2,032x10 ⁻⁶	2,022x10 ⁻⁶	2,065x10 ⁻⁶
Interview	Orijinal	7,915x10 ⁻⁸	7,929x10 ⁻⁸	8,014x10 ⁻⁸	8,236x10 ⁻⁸	8,405x10 ⁻⁸
	SD	8,240x10 ⁻⁸	8,259x10 ⁻⁸	8,340x10 ⁻⁸	8,556x10 ⁻⁸	8,731x10 ⁻⁸
	CIF	3,287x10 ⁻⁷	3,296x10 ⁻⁷	3,333x10 ⁻⁷	3,425x10 ⁻⁷	3,491x10 ⁻⁷
	QCIF	1,309x10 ⁻⁶	1,320x10 ⁻⁶	1,337x10 ⁻⁶	1,369x10 ⁻⁶	1,389x10 ⁻⁶
Advertisement	Orijinal	4,246x10 ⁻⁸	4,285x10 ⁻⁸	4,348x10 ⁻⁸	4,451x10 ⁻⁸	4,577x10 ⁻⁸
	SD	6,156x10 ⁻⁸	6,191x10 ⁻⁸	6,248x10 ⁻⁸	6,385x10 ⁻⁸	6,595x10 ⁻⁸
	CIF	2,470x10 ⁻⁷	2,474x10 ⁻⁷	2,492x10 ⁻⁷	2,567x10 ⁻⁷	2,632x10 ⁻⁷
	QCIF	1,011x10 ⁻⁶	1,023x10 ⁻⁶	1,034x10 ⁻⁶	1,056x10 ⁻⁶	1,084x10 ⁻⁶
Farm	Orijinal	1,217x10 ⁻⁷	1,214x10 ⁻⁷	1,206x10 ⁻⁷	1,203x10 ⁻⁷	1,226x10 ⁻⁷
	SD	1,562x10 ⁻⁷	1,558x10 ⁻⁷	1,546x10 ⁻⁷	1,543x10 ⁻⁷	1,568x10 ⁻⁷
	CIF	6,233x10 ⁻⁷	6,216x10 ⁻⁷	6,167x10 ⁻⁷	6,156x10 ⁻⁷	6,254x10 ⁻⁷
	QCIF	2,472x10 ⁻⁶	2,467x10 ⁻⁶	2,443x10 ⁻⁶	2,446x10 ⁻⁶	2,483x10 ⁻⁶
Football	Orijinal	1,214x10 ⁻⁷	1,224x10 ⁻⁷	1,223x10 ⁻⁷	1,231x10 ⁻⁷	1,241x10 ⁻⁷
	SD	1,551x10 ⁻⁷	1,563x10 ⁻⁷	1,563x10 ⁻⁷	1,573x10 ⁻⁷	1,586x10 ⁻⁷
	CIF	6,220 x10 ⁻⁷	6,269x10 ⁻⁷	6,268x10 ⁻⁷	6,309x10 ⁻⁷	6,363x10 ⁻⁷
	QCIF	2,497x10 ⁻⁶	2,517x10 ⁻⁶	2,519x10 ⁻⁶	2,534x10 ⁻⁶	2,557x10 ⁻⁶
Newspaper	Orijinal	1,646x10 ⁻⁷	1,659x10 ⁻⁷	1,67x10 ⁻⁷	1,692x10 ⁻⁷	1,718x10 ⁻⁷
	SD	3,258x10 ⁻⁷	3,268x10 ⁻⁷	3,278x10 ⁻⁷	3,311x10 ⁻⁷	3,354x10 ⁻⁷
	CIF	1,310x10 ⁻⁶	1,314x10 ⁻⁶	1,317x10 ⁻⁶	1,329x10 ⁻⁶	1,348x10 ⁻⁶
	QCIF	5,285x10 ⁻⁶	5,298x10 ⁻⁶	5,312x10 ⁻⁶	5,358x10 ⁻⁶	5,438x10 ⁻⁶
Ballet	Orijinal	4,583x10 ⁻⁷	4,585x10 ⁻⁷	4,577x10 ⁻⁷	4,568x10 ⁻⁷	4,546x10 ⁻⁷
	SD	8,847x10 ⁻⁷	8,849x10 ⁻⁷	8,835x10 ⁻⁷	8,820x10 ⁻⁷	8,773x10 ⁻⁷
	CIF	3,559x10 ⁻⁶	3,560x10 ⁻⁶	3,555x10 ⁻⁶	3,547x10 ⁻⁶	3,535x10 ⁻⁶
	QCIF	1,412x10 ⁻⁵	1,413x10 ⁻⁵	1,411x10 ⁻⁵	1,410x10 ⁻⁵	1,407x10 ⁻⁵

4.4. Yakınsamaya İlişkin Bulgular

Yakınsamaya ilişkin hesaplamaları gerçekleştirmek üzere geliştirilen algorithmadan alınan yakınsama ölçüm sonuçlarına Çizelge 4.4'te yer verilmektedir.

Çizelge 4.4. Yakınsama ölçüm bulguları

Video Adı	Video Boyutu	Nicemleme Parametresi				
		Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
Breakdance	Orijinal	2,035x10 ⁻¹⁰	2,035x10 ⁻¹⁰	2,034x10 ⁻¹⁰	2,030x10 ⁻¹⁰	2,031x10 ⁻¹⁰
	SD	3,949x10 ⁻¹⁰	3,950x10 ⁻¹⁰	3,946x10 ⁻¹⁰	3,939x10 ⁻¹⁰	3,940x10 ⁻¹⁰
	CIF	1,582x10 ⁻⁹	1,582x10 ⁻⁹	1,581x10 ⁻⁹	1,577x10 ⁻⁹	1,578x10 ⁻⁹
	QCIF	6,362x10 ⁻⁹	6,362x10 ⁻⁹	6,350x10 ⁻⁹	6,329x10 ⁻⁹	6,335x10 ⁻⁹
Butterfly	Orijinal	1,618x10 ⁻¹⁰	1,162x10 ⁻¹⁰	1,627x10 ⁻¹⁰	1,637x10 ⁻¹⁰	1,635x10 ⁻¹⁰
	SD	2,138x10 ⁻¹⁰	2,140x10 ⁻¹⁰	2,145x10 ⁻¹⁰	2,162x10 ⁻¹⁰	2,157x10 ⁻¹⁰
	CIF	8,559x10 ⁻¹⁰	8,577x10 ⁻¹⁰	8,599x10 ⁻¹⁰	8,672x10 ⁻¹⁰	8,648x10 ⁻¹⁰
	QCIF	3,420x10 ⁻⁹	3,433x10 ⁻⁹	3,442x10 ⁻⁹	3,452x10 ⁻⁹	3,448x10 ⁻⁹
Windmill	Orijinal	2,795x10 ⁻¹⁰	2,799x10 ⁻¹⁰	2,781x10 ⁻¹⁰	2,772x10 ⁻¹⁰	2,790x10 ⁻¹⁰
	SD	3,578x10 ⁻¹⁰	3,583x10 ⁻¹⁰	3,559x10 ⁻¹⁰	3,548x10 ⁻¹⁰	3,573x10 ⁻¹⁰
	CIF	1,432x10 ⁻⁹	1,435x10 ⁻⁹	1,425x10 ⁻⁹	1,421x10 ⁻⁹	1,433x10 ⁻⁹
	QCIF	5,750x10 ⁻⁹	5,759x10 ⁻⁹	5,721x10 ⁻⁹	5,702x10 ⁻⁹	5,767x10 ⁻⁹
Chess	Orijinal	3,151x10 ⁻¹⁰	3,114x10 ⁻¹⁰	3,104x10 ⁻¹⁰	3,047x10 ⁻¹⁰	3,003x10 ⁻¹⁰
	SD	4,041x10 ⁻¹⁰	3,994x10 ⁻¹⁰	3,977x10 ⁻¹⁰	3,900x10 ⁻¹⁰	3,844x10 ⁻¹⁰
	CIF	1,617x10 ⁻⁹	1,599x10 ⁻⁹	1,593x10 ⁻⁹	1,560x10 ⁻⁹	1,536x10 ⁻⁹
	QCIF	6,482x10 ⁻⁹	6,401x10 ⁻⁹	6,390x10 ⁻⁹	6,249x10 ⁻⁹	6,134x10 ⁻⁹
Interview	Orijinal	1,972x10 ⁻¹⁰	1,975x10 ⁻¹⁰	1,981x10 ⁻¹⁰	1,989x10 ⁻¹⁰	1,998x10 ⁻¹⁰
	SD	2,028x10 ⁻¹⁰	2,031x10 ⁻¹⁰	2,034x10 ⁻¹⁰	2,045x10 ⁻¹⁰	2,054x10 ⁻¹⁰
	CIF	8,117x10 ⁻¹⁰	8,129x10 ⁻¹⁰	8,156x10 ⁻¹⁰	8,189x10 ⁻¹⁰	8,226x10 ⁻¹⁰
	QCIF	3,244x10 ⁻⁹	3,248x10 ⁻⁹	3,261x10 ⁻⁹	3,275x10 ⁻⁹	3,287x10 ⁻⁹
Advertisement	Orijinal	1,178x10 ⁻¹⁰	1,183x10 ⁻¹⁰	1,193x10 ⁻¹⁰	1,207x10 ⁻¹⁰	1,233x10 ⁻¹⁰
	SD	1,524x10 ⁻¹⁰	1,530x10 ⁻¹⁰	1,542x10 ⁻¹⁰	1,560x10 ⁻¹⁰	1,594x10 ⁻¹⁰
	CIF	6,094x10 ⁻¹⁰	6,118x10 ⁻¹⁰	6,166x10 ⁻¹⁰	6,242x10 ⁻¹⁰	6,374x10 ⁻¹⁰
	QCIF	2,437x10 ⁻⁹	2,449x10 ⁻⁹	2,469x10 ⁻⁹	2,497x10 ⁻⁹	2,553x10 ⁻⁹
Farm	Orijinal	2,182x10 ⁻¹⁰	2,181x10 ⁻¹⁰	2,178x10 ⁻¹⁰	2,185x10 ⁻¹⁰	2,200x10 ⁻¹⁰
	SD	2,799x10 ⁻¹⁰	2,800x10 ⁻¹⁰	2,795x10 ⁻¹⁰	2,804x10 ⁻¹⁰	2,823x10 ⁻¹⁰
	CIF	1,122x10 ⁻⁹	1,122x10 ⁻⁹	1,120x10 ⁻⁹	1,124x10 ⁻⁹	1,131x10 ⁻⁹
	QCIF	4,518x10 ⁻⁹	4,517x10 ⁻⁹	4,504x10 ⁻⁹	4,520x10 ⁻⁹	4,551x10 ⁻⁹
Football	Orijinal	2,694x10 ⁻¹⁰	2,685x10 ⁻¹⁰	2,681x10 ⁻¹⁰	2,666x10 ⁻¹⁰	2,646x10 ⁻¹⁰
	SD	3,445x10 ⁻¹⁰	3,433x10 ⁻¹⁰	3,428x10 ⁻¹⁰	3,400x10 ⁻¹⁰	3,384x10 ⁻¹⁰
	CIF	1,378x10 ⁻⁹	1,373x10 ⁻⁹	1,371x10 ⁻⁹	1,364x10 ⁻⁹	1,353x10 ⁻⁹
	QCIF	5,514x10 ⁻⁹	5,494x10 ⁻⁹	5,485x10 ⁻⁹	5,458x10 ⁻⁹	5,415x10 ⁻⁹

Çizelge 4.4. (devamı)

Video Adı	Video Boyutu	Nicemleme Parametresi				
		Q25	Q30	Q35	Q40	Q45
Newspaper	Orijinal	$7,960 \times 10^{-11}$	$7,980 \times 10^{-11}$	$7,990 \times 10^{-11}$	$8,020 \times 10^{-11}$	$8,050 \times 10^{-11}$
	SD	$1,554 \times 10^{-10}$	$1,555 \times 10^{-10}$	$1,556 \times 10^{-10}$	$1,560 \times 10^{-10}$	$1,566 \times 10^{-10}$
	CIF	$6,223 \times 10^{-10}$	$6,225 \times 10^{-10}$	$6,225 \times 10^{-10}$	$6,240 \times 10^{-10}$	$6,261 \times 10^{-10}$
	QCIF	$2,493 \times 10^{-9}$	$2,492 \times 10^{-9}$	$2,493 \times 10^{-10}$	$2,497 \times 10^{-9}$	$2,505 \times 10^{-9}$
Ballet	Orijinal	$2,313 \times 10^{-10}$	$2,316 \times 10^{-10}$	$2,315 \times 10^{-10}$	$2,313 \times 10^{-10}$	$2,316 \times 10^{-10}$
	SD	$4,493 \times 10^{-10}$	$4,498 \times 10^{-10}$	$4,496 \times 10^{-10}$	$4,492 \times 10^{-10}$	$4,496 \times 10^{-10}$
	CIF	$1,803 \times 10^{-9}$	$1,805 \times 10^{-9}$	$1,804 \times 10^{-9}$	$1,803 \times 10^{-9}$	$1,805 \times 10^{-9}$
	QCIF	$7,240 \times 10^{-9}$	$7,247 \times 10^{-9}$	$7,246 \times 10^{-9}$	$7,239 \times 10^{-9}$	$7,243 \times 10^{-9}$

4.5. Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular

Önerilen FF değerlerinin en verimli şekilde elde edilmesinde Eşitlik (3.51)'de verilen FF bileşenlerinin, yani MI, BL, CONV ve RIS parametrelerinden yararlanılarak elde edilen C ve D ağırlıklarının rolü oldukça önemlidir. Bu önemli rolün oynanması için ağırlık fonksiyonlarının öznel testler sonucunda renkli videolardan ve ilişkili derinlik haritalarından elde edilen OGP değerleri ile ilişki düzeylerinin yeterli seviyede olması gerekmektedir. Aksi takdirde önerilen FF değerleri ile C ve D ağırlıkları arasında başarılı bir bağlantı kurulamayacağından adaptasyon kararının alınması sürecinin performansı düşük olacaktır. Bu nedenle C ve D ağırlıkları ile ilgili OGP değerleri arasındaki korelasyonu artıracak C ve D ağırlık fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Pearson korelasyon analizi yöntemi kullanılarak renkli videolar ve ilişkili DH'ler için ayrı ayrı yapılan öznel testlerden elde edilen OGP değerleri ile C ve D ağırlık fonksiyonlarından elde edilen C ve D ağırlıkları arasındaki korelasyon değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Korelasyon değerleri

3B Video	Renkli video için	
	MOS-C korelasyon değerleri	DH için MOS-D korelasyon değerleri
Breakdance	0,812	0,911
Butterfly	0,919	-0,957
Windmill	0,906	-0,434
Chess	-0,562	0,673
Interview	0,974	-0,958
Advertisement	0,363	-0,962
Farm	0,839	-0,569
Football	0,615	-0,540
Newspaper	0,957	-0,982
Ballet	0,763	0,888

Değişkenler arasındaki ilişki düzeylerini açıklayan Çizelge 1.1 doğrultusunda, Çizelge 4.5'te yer alan korelasyon değerleri incelendiğinde bu değerlerin -1'e veya +1'e yaklaşımlarıyla birlikte renkli videolara ve DH'lere ait MOS değerleri ile C ağırlık fonksiyonundan elde edilen C değerlerinin veya D ağırlık fonksiyonundan elde edilen D değerlerinin arasındaki ilişki düzeylerinin yükseldiği anlaşılmaktadır. Renkli videolara ait MOS değerleri ile C değerleri arasında en yüksek seviyedeki ilişki Interview videosunda 0,973994835 büyüklüğünde (güçlü pozitif korelasyon, yüksek düzeyde ilişki), en düşük seviyedeki ilişki ise Advertisement videosunda 0,363128320 büyüklüğünde (pozitif korelasyon, orta düzeyde ilişki) olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, DH'lere ait MOS değerleri ile D değerleri arasındaki en yüksek seviyedeki ilişki 0,982284936 büyüklüğünde ancak ters yönde (negatif güçlü korelasyon, yüksek düzeyde ilişki) Newspaper videosunda, en düşük düzeydeki ilişki ise Chess videosunda 0,672857110 büyüklüğünde (pozitif korelasyon, orta düzeyde ilişki) olduğu görülmektedir.

Bu nedenle Eşitlik (3.49) ve Eşitlik (3.50) ile verilen ağırlık fonksiyonlarından elde edilen C ve D ağırlık değerlerinin renkli videolar ve DH'ler için ayrı ayrı ölçülen MOS değerleri ile olan korelasyonlarının yeterli seviyede olduğu ve bu tez çalışmasında önerilen 3B video adaptasyon modelinde Eşitlik (3.49) ve Eşitlik (3.50) ile verilen C

ve D ağırlık fonksiyonlarının ve bunlardan elde edilen C ve D ağırlık değerlerinin kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

Öte yandan söz konusu korelasyon değerlerinin -1 veya $+1$ değerlerine yaklaşmasıyla ilgili MOS değerleri ile C ve D değerleri arasındaki ilişki düzeyi yükseldiğinden FF değerlerinin daha verimli elde edilmesi de söz konusu olmaktadır. C ve D ağırlıkları ise Eşitlik (3.51)'de verilen FF denkleminin bileşenlerinden olup söz konusu korelasyon değerlerinin yeterli seviyede olması doğrudan FF değerlerini, dolayısıyla adaptasyon kararı alınması sürecinin performansını olumlu yönde etkilemektedir.

4.6. FF Kullanılarak Elde Edilen Bulgular

10 farklı renkli video ve ilişkili DH'lerin 5 farklı NP ile kodlanmış ve bilinear interpolasyon tekniği ile orijinal boyutlarından SD, CIF ve QCIF boyutlarına getirilmiş versiyonlarının farklı uzamsal çözünürlük kombinasyonlarına göre bir araya getirilmesiyle oluşturulan 3B videolara ait FF değerleri, renkli videolar ve ilişkili DH'ler için ayrı ayrı yapılan öznel testlerden alınan OGP sonuçları da dikkate alınmak suretiyle, (3.51) eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5'ten de görüldüğü gibi, her bir videoya ait tüm 2B+DH kombinasyonlarında (SD-SD, SD-CIF, SD-QCIF, CIF-SD, CIF-CIF, CIF-QCIF, QCIF-SD, QCIF-CIF ve QCIF-QCIF) NP QP=25'ten QP=45'e doğru değişirken FF değerlerinin beklendiği üzere azalış gösterdiği görülmektedir. Örneğin Breakdance videosunun SD-SD kombinasyonunda NP QP=25'ten QP=45'e doğru değişirken FF değerleri azalış göstermektedir. Bu durumun nedeni, 2B+DH kombinasyonlarının toplam bit oranlarının NP QP=25'ten QP=45'e doğru değişimiyle birlikte azalması, dolayısıyla izleyicideki derinlik algısının azalması olarak açıklanabilir.

Bununla birlikte uzamsal çözünürlüğün azalmasıyla birlikte FF değerlerinin de küçüldüğü görülmektedir. Örneğin Chess videosunda NP QP=25 iken SD+SD

kombinasyonunun FF değeri SD-CIF veya CIF-SD kombinasyonlarının FF değerlerinden daha büyüktür. Bu durumun nedeni ise bir 3B video kombinasyonunda NP sabitken renkli videonun veya DH'nin uzamsal znrlğnn azalmasının izleyicideki derinlik algısı üzerinde azalmaya neden olması olarak açıklanabilir.



Çizelge 4.6. FF hesaplama bulguları

QP	3B Video Kombinasyonu	Breakdance	Butterfly	Windmill	Chess	Interview	Advertisement	Farm	Football	Newspaper	Ballet
25	SD+SD	16,897	8,272	2,470	17,773	1,009	29,926	75,376	92,618	41,098	15,712
30		6,009	4,812	1,108	9,105	0,439	17,296	39,932	43,512	19,971	8,999
35		2,666	2,830	0,549	4,597	0,201	10,134	20,996	15,466	8,896	4,945
40		1,372	1,679	0,287	2,500	0,092	5,848	10,597	6,233	3,640	2,399
45		0,600	1,003	0,122	1,502	0,038	3,370	4,907	3,247	1,302	1,068
25	SD+CIF	16,928	8,273	2,472	17,775	1,010	29,927	75,380	92,619	41,108	15,771
30		6,028	4,813	1,110	9,106	0,440	17,296	39,934	43,513	19,975	9,021
35		2,677	2,831	0,549	4,598	0,201	10,134	20,997	15,467	8,899	4,957
40		1,378	1,679	0,287	2,501	0,092	5,848	10,598	6,233	3,641	2,406
45		0,603	1,003	0,122	1,503	0,038	3,371	4,908	3,248	1,302	1,072
25	SD+QCIF	17,002	8,277	2,481	17,782	1,012	29,928	75,392	92,624	41,151	15,906
30		6,071	4,816	1,114	9,110	0,441	17,297	39,940	43,516	19,996	9,083
35		2,700	2,833	0,551	4,600	0,202	10,135	21,000	15,468	8,897	4,988
40		1,390	1,681	0,288	2,502	0,092	5,848	10,600	6,234	3,647	2,424
45		0,609	1,004	0,123	1,503	0,038	3,371	4,909	3,248	1,306	1,082

Çizelge 4.6. (devamı)

QP	3B Video Kombinasyonu	Breakdance	Butterfly	Windmill	Chess	Interview	Advertisement	Farm	Football	Newspaper	Ballet
25	CIF+SD	2,620	1,114	0,281	2,365	0,119	4,068	10,026	16,069	3,512	1,743
30		0,868	0,637	0,124	1,282	0,052	2,392	5,374	7,606	1,794	0,978
35		0,374	0,367	0,062	0,664	0,025	1,407	2,818	2,508	0,820	0,548
40		0,197	0,219	0,033	0,354	0,012	0,832	1,435	0,919	0,343	0,285
45		0,083	0,127	0,015	0,195	0,005	0,467	0,649	0,429	0,130	0,130
25	CIF+CIF	2,652	1,115	0,284	2,367	0,120	4,068	10,031	16,070	3,522	1,803
30		0,886	0,638	0,126	1,283	0,053	2,392	5,376	7,607	1,799	1,000
35		0,384	0,367	0,062	0,665	0,025	1,407	2,820	2,508	0,823	0,560
40		0,202	0,220	0,034	0,354	0,012	0,832	1,436	0,919	0,344	0,292
45		0,086	0,127	0,015	0,195	0,005	0,467	0,649	0,429	0,131	0,134
25	CIF+QCIF	2,726	1,119	0,292	2,373	0,123	4,069	10,043	16,075	3,565	1,938
30		0,929	0,641	0,129	1,287	0,054	2,393	5,382	7,609	1,820	1,062
35		0,408	0,369	0,064	0,667	0,025	1,407	2,823	2,509	0,821	0,591
40		0,214	0,221	0,034	0,355	0,012	0,832	1,438	0,920	0,350	0,309
45		0,092	0,128	0,016	0,196	0,005	0,467	0,650	0,429	0,135	0,143

Çizelge 4.6. (devamı)

QP	3B Video Kombinasyonu	Breakdance	Butterfly	Windmill	Chess	Interview	Advertisement	Farm	Football	Newspaper	Ballet
25	QCIF+SD	0,415	0,147	0,032	0,321	0,014	0,543	1,175	1,511	0,296	0,229
30		0,136	0,083	0,014	0,180	0,006	0,320	0,637	0,758	0,156	0,111
35		0,058	0,047	0,007	0,093	0,003	0,185	0,338	0,267	0,073	0,065
40		0,030	0,027	0,003	0,047	0,001	0,109	0,174	0,095	0,031	0,033
45		0,013	0,015	0,001	0,024	0,001	0,058	0,077	0,041	0,012	0,015
25	QCIF+CIF	0,446	0,149	0,034	0,324	0,015	0,543	1,180	1,512	0,307	0,288
30		0,154	0,084	0,015	0,181	0,007	0,321	0,640	0,759	0,161	0,133
35		0,068	0,048	0,007	0,094	0,003	0,185	0,340	0,267	0,075	0,076
40		0,035	0,027	0,004	0,048	0,001	0,109	0,175	0,095	0,032	0,041
45		0,016	0,015	0,002	0,024	0,001	0,058	0,077	0,041	0,013	0,019
25	QCIF+QCIF	0,520	0,153	0,043	0,330	0,018	0,545	1,191	1,517	0,349	0,423
30		0,197	0,086	0,019	0,184	0,008	0,322	0,646	0,762	0,182	0,195
35		0,092	0,049	0,009	0,096	0,004	0,186	0,343	0,268	0,073	0,107
40		0,047	0,029	0,005	0,049	0,002	0,109	0,177	0,096	0,038	0,058
45		0,022	0,016	0,002	0,025	0,001	0,059	0,078	0,042	0,016	0,028

4.7. Adaptasyon Kararının Alınmasına İlişkin Bulgular

Bölüm 4.6’da açıklandığı şekilde elde edilen farklı uzamsal çözünürlüklere bağlı 3B video kombinasyonları kullanılarak adaptasyon kararının alınabilmesi için bu çalışmada belirlenen kısıtlamalar;

- Hedef band genişlikleri 500, 2.000 ve 3.500 kbps,
- Hedef ekran boyutları 704 x 576 ve 352 x 288 piksel,

şeklindedir.

Öncelikle hedef band genişliklerinin altında bit oranıyla beraber hedef ekran genişlik ve uzunluğunun altında genişlik ve uzunluğa sahip videolar, elde edilen videolar arasından tespit edilmiştir. Bunu takiben de maksimum FF değerine sahip olanlar seçilerek bunlara ait uzamsal çözünürlükler adaptasyon kararı parametreleri olarak belirlenmişlerdir. Çizelge 4.7’de adaptasyon kararı alma işleminin ardından elde edilen uzamsal çözünürlük ve bit oranı parametre sonuçları ile bu sonuçları içeren videoların OGP’leri verilmektedir. Bu OGP’leri elde etmek için yeni öznel testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde de yine önerilen algoritma geliştirilirken kullanılan renkli video ve DH’lerden oluşan 3B videolar kullanılmıştır. Fakat bu renkli video ve DH’ler Şekil 3.3.’te gösterildiği şekilde SD, CIF ve QCIF boyutlarının farklı kombinasyonları kullanılarak 3B videoları oluşturmuşlardır. Yine bu algoritma geliştirilirken gerçekleştirilen öznel testlerde olduğu gibi testlerden önce katılımcılar testin özellikleri ve puanlama hakkında yeterince bilgi sahibi olmuşlardır. Katılımcıların hiç birisinin 3B videolar ile ilgili uzmanlıkları bulunmamaktadır. Testler sırasında katılımcılar ekrandan 3 m. uzağa oturmuşlardır. Test videoları otostereoskopik ekranda katılımcılara izletilmiştir. Test ortamı hep aynı tutulmuştur. Testler değerlendirilirken TUSKD [107] yöntemi kullanılmıştır. Böylece katılımcılar herhangi bir referans videoyu göz önüne almadan sadece kendilerine testler sırasında izletilen kodlanmış 3B videoların kalitesini değerlendirmişlerdir. Testler sırasında ITU-R BT. 500-13 standardından önerildiği şekilde 1 ile 5 arasında puanlama yapılmıştır. Testlere 23 gözlemci katılmıştır ve 2’sinin sonucu aykırı sonuç olarak

belirlenmiştir. Dolayısı ile 21 katılımcının puanı geliştirilen algoritmanın performans değerlendirmesinde kullanılacak OGP puanlarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Önerilen FF'nin performans değerlendirme sonuçlarının alınabilmesi için VQM, PSNR ve SSIM (Structural Similarity Index Measure - Yapısal Benzerlik Endeksi Ölçümü (YPEÖ)) [108] kullanarak referans adaptasyon kararı alma sonuçları da elde edilmiştir. Benzer şekilde bu sonuçlar elde edilirken, önerilen FF sonuçlarını elde etmek için kullanılan renkli video ve DH'lerden oluşan 3B videolar kullanılmıştır. Bu metriklerin referans algoritmalar olarak kullanılmalarının nedeni, literatürde araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmalarıdır.

Çizelge 4.7'de (3.51) eşitliği ile önerilen FF denkleminde alınan en yüksek fayda değerlerine karşılık gelen OGP değerleri ile referans olarak VQM, PSNR ve SSIM ölçümlerinin en yüksek olanlarına karşılık gelen OGP değerleri görülmektedir.

Bütün bu açıklamalar ışığında Çizelge 4.7 incelendiğinde önerilen FF, VQM, PSNR ve SSIM kullanılarak alınan OGP sonuçları arasında karşılaştırma yapıldığında, adaptasyon kararı alınması sürecinin performansının üç ayrı kategoride değerlendirilmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- 1- $OGP_{\text{önerilen FF}} \geq OGP_{\text{VQM}}$
 $OGP_{\text{önerilen FF}} \geq OGP_{\text{PSNR}}$
 $OGP_{\text{önerilen FF}} \geq OGP_{\text{SSIM}}$
- 2- $OGP_{\text{önerilen FF}} \leq OGP_{\text{VQM}}$
 $OGP_{\text{önerilen FF}} \leq OGP_{\text{PSNR}}$
 $OGP_{\text{önerilen FF}} \leq OGP_{\text{SSIM}}$
- 3- $OGP_{\text{önerilen FF}} = OGP_{\text{VQM}} = OGP_{\text{PSNR}} = OGP_{\text{SSIM}}$

Birinci kategorideki performans değerlendirme sonuçlarına göre, önerilen FF için alınan OGP değeri VQM, PSNR ve SSIM için alınan OGP değerlerinden yüksek veya bazılarında yüksek bazılarında eşittir. Bu sonucun alındığı önerilen FF'e ait video kombinasyonlarında toplam bit oranı diğerlerine göre düşükse uzamsal çözünürlüğün yüksek olması nedeniyle OGP yüksektir; toplam bit oranı diğerlerinden yüksekse, OGP değeri de yüksektir.

Örnek olarak, Newspaper videosu için 2.000 kbps hedef band genişliği ve CIF hedef ekran boyutu kısıtlamaları altında önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri ise renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri CIF-QCIF, NP'leri 30 ve toplam bit oranı 1.852,00 kbps şeklindedir. Bu adaptasyon parametrelerini içeren Newspaper videosu için elde edilen OGP değeri ise 3,63'tür. Aynı kısıtlamalar altında VQM ve PSNR'ye göre hesaplanan adaptasyon kararı sonucunda elde edilen parametreler QCIF-CIF uzamsal çözünürlük, 35 NP ve 1.136,10 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 3,50; SSIM'e göre hesaplanan adaptasyon kararı sonucunda elde edilen parametreler ise CIF-CIF uzamsal çözünürlük, 35 NP ve 1.193,40 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri yine 3,50 olarak elde edilmiştir. Buna göre önerilen FF ile daha yüksek bit oranına sahip 2B – DH kombinasyonu elde edilse de OGP değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

İkinci sınıf performans değerlendirme sonuçlarına göre, önerilen FF için alınan OGP değerinin VQM, PSNR ve SSIM için alınan OGP değerlerinden düşük olması halinde, toplam bit oranı da daha düşüktür.

Örneğin, Interview videosu için 500 kbps hedef band genişliği ve SD hedef ekran boyutu kısıtlamaları altında önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; 2B – DH uzamsal çözünürlükleri SD-QCIF, NP'leri 35 ve toplam bit oranı 252,90 kbps şeklindeyken elde edilen OGP değeri 3,81'dir. Aynı kısıtlamalar altında VQM kullanılarak adaptasyon kararı sonucunda elde edilen

parametreler QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 30 NP ve 397,10 kbps bit oranı şeklinde olup OGP değeri 3,91; PSNR ve SSIM kullanılarak adaptasyon kararı sonucunda elde edilen parametreler ise QCIF-CIF uzamsal çözünürlük, 30 NP ve 451,40 kbps bit oranı şeklinde olup OGP değeri 3,91'dir. Buna göre önerilen FF ile elde edilen videonun OGP değeri diğer OGP değerlerinden daha düşüktür. Burada önerilen FF ile elde edilen videonun daha düşük bit oranına sahipken daha yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip olması nedeniyle OGP değerleri arasında küçük bir farklılık olması söz konusudur. Bu nedenle önerilen FF ile elde edilen daha düşük bit oranına sahip videonun daha yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip olması ve hedef ekran boyutuyla daha uyumlu olması nedenleriyle OGP değerindeki bu küçük farklılığın göz ardı edilmesi mümkündür.

Diğer bir örnek olarak, Breakdance videosu için 500 kbps hedef band genişliği ve CIF hedef ekran boyutu kısıtlamaları altında önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri CIF-QCIF, NP'leri 40 ve toplam bit oranı 352,00 kbps'dir. Bu durumda elde edilen OGP değeri ise 2,50'dir. Ancak aynı kısıtlamalar altında VQM, PSNR ve SSIM'e bağlı olarak hesaplanan adaptasyon karar alma sonucunda QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 35 NP ve 482,20 kbps toplam bit oranı parametreleri elde edilmiş olup OGP değerleri 2,69'dur. Burada, önerilen FF ile elde edilen videonun OGP değerinin daha düşük olduğu, ancak aynı zamanda hem daha düşük bit oranına sahip olduğu hem de uzamsal çözünürlüğünün daha yüksek ve hedef ekran boyutu ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.

Başka bir örnek olarak, Ballet videosu için 500 kbps hedef band genişliği ve SD hedef ekran boyutu kısıtlamaları altında da gözlemlenmektedir. Buna göre önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri SD-QCIF, NP'leri 40 ve toplam bit oranı 309,60 kbps şeklinde olup elde edilen OGP değeri 3,03'tür. Ancak aynı kısıtlamalar altında VQM ve PSNR'ye göre hesaplanan adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 35 NP ve 375,00 kbps toplam bit oranı

şeklinde olup OGP değerleri 3,13; SSIM'e göre hesaplanan adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler CIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 35 NP ve 439,90 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 3,13'tür.. Burada da yine önerilen FF ile elde edilen videonun OGP değerinin daha düşük olmasına rağmen VQM, PSNR ve SSIM için elde edilen videolardan daha az bit oranına sahip olduğu, uzamsal çözünürlüğünün ise daha yüksek olması nedeniyle OGP değerinin yükseldiği ve hedef ekran boyutu ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.

Benzer şekilde, Butterfly videosu için 500 kbps hedef band genişliği ve SD hedef ekran boyutu kısıtlamaları altında önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri SD-QCIF, NP'leri 40 ve toplam bit oranı 328,60 kbps şeklindedir. Bu adaptasyon parametreleri için elde edilen OGP değeri ise 4,03'tür. Aynı kısıtlamalar altında VQM ve SSIM kullanılarak adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 35 NP ve 381,00 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 4,19 olarak; PSNR kullanılarak adaptasyon kararı sonucunda elde edilen parametreler ise QCIF-CIF uzamsal çözünürlük, 35 NP ve 458,80 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri yine 4,19 olarak elde edilmiştir. Buna göre önerilen FF ile elde edilen videonun OGP değeri daha düşük olmakla birlikte diğer taraftan hem toplam bit oranı daha düşük hem de uzamsal çözünürlüğü daha yüksek ve hedeflenen ekran boyutu ile daha uyumludur.

Yine bir örnek olarak, Windmill videosu için 2.000 kbps hedef band genişliği ve SD hedef ekran boyutu kısıtlamaları altında önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri SD-QCIF, NP'leri 30 ve toplam bit oranı 916,40 kbps, elde edilen OGP değeri ise 3,84'tür. Bu kısıtlamalar altında VQM'e dayalı adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 25 NP ve 1.593,60 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 3,97; PSNR'ye dayalı adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler CIF-CIF uzamsal çözünürlük, 25 NP ve 1.916,50 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 3,97;

SSIM'e dayalı adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler ise QCIF-SD uzamsal çözünürlük, 25 NP ve 1.773,40 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri yine 3,97'dir. Buna göre önerilen FF'e dayanarak elde edilen videonun OGP değeri daha düşük olmasına rağmen toplam bit oranı daha düşük, uzamsal çözünürlük ise daha yüksek ve hedeflenen ekran boyutu ile daha uyumludur.

Son olarak Chess videosu için kısıtlamalar 3.500 kbps hedef band genişliği ve SD hedef ekran boyutu olarak belirlendiğinde, önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri SD-QCIF, NP'leri 30 ve toplam bit oranı 1.930,20 kbps şeklindedir. Bu 2B – DH kombinasyonu için elde edilen OGP değeri 4,19'dur. Belirlenen kısıtlamalar değiştirilmeden aynı video için VQM ve SSIM kullanılarak adaptasyon karar alma sonuçlarında elde edilen parametreler ise QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 25 NP ve 2.296,80 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 4,41; PSNR kullanılarak adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler ise CIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 25 NP ve 2.957,80 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 4,41'dir. Buna göre önerilen FF için OGP değeri daha düşüktür. Ancak diğer taraftan hem toplam bit oranının daha düşük olduğu hem de uzamsal çözünürlüğünün daha yüksek ve hedeflenen ekran boyutu ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Aynı durum, Advertisement videosunda da görülmektedir.

Üçüncü sınıf performans değerlendirme sonuçlarına göre ise önerilen FF için alınan OGP değeri VQM, PSNR ve SSIM için alınan OGP değerleri birbirine eşitse, uzamsal çözünürlüğün daha yüksek olması nedeniyle toplam bit oranının daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Örneğin Interview videosu için kısıtlamalar 3.500 kbps hedef band genişliği ve CIF hedef ekran boyutu iken önerilen FF'e göre hesaplanan adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri CIF-QCIF, NP'leri 25 ve toplam bit oranı 1.000,00 kbps şeklindedir. Bu adaptasyon parametrelerine göre elde

edilen OGP değeri ise 4,00'tür. Kısıtlamalar değiştirilmeksizin VQM'e dayalı adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, 25 NP ve 884,60 kbps toplam bit oranı şeklinde olup OGP değeri 4,00 olarak; PSNR ve SSIM'e dayalı adaptasyon karar alma sonucunda elde edilen parametreler ise QCIF-CIF uzamsal çözünürlük, 25 NP ve 990,30 kbps bit oranı şeklinde olup OGP değeri 4,00 olarak elde edilmiştir. Buna göre önerilen FF'e dayanarak daha yüksek bit oranına sahip video elde edilse de elde edilen videonun uzamsal çözünürlüğünün hedef ekran boyutu ile daha uyumlu olması nedeniyle OGP değerinin yüksek çıkması söz konusudur. Bu nedenle önerilen FF'e göre elde edilen OGP değeriyle VQM, PSNR ve SSIM'e göre elde edilen OGP değerleri arasındaki küçük farklılığın göz ardı edilebileceği gözlemlenmektedir. Çizelge 4.7'ye göre aynı durumla diğer videolarda karşılaşılmaktadır.

Ayrıca farklı bir örnek olarak, Newspaper videosu için 500 kbps hedef band genişliği ve CIF hedef ekran boyutu kısıtlamaları altında önerilen FF kullanılarak elde edilen adaptasyon karar alma sonucu parametreleri; renkli video – DH uzamsal çözünürlükleri CIF-QCIF, NP'leri 40 ve toplam bit oranı 421,00 kbps şeklindedir. Bu adaptasyon parametrelerini içeren Newspaper videosu için elde edilen OGP değeri ise 3,34'tür. Aynı kısıtlamalar altında VQM ve SSIM kullanılarak adaptasyon kararı sonucunda elde edilen parametreler QCIF-QCIF uzamsal çözünürlük, NP 40 ve toplam bit oranı 384,60 kbps şeklindedir. Bu durumda OGP değeri 3,34 olarak elde edilmiştir. PSNR kullanılarak adaptasyon kararı sonucunda elde edilen parametreler ise uzamsal çözünürlükleri QCIF-CIF, NP'leri 45 ve toplam bit oranı 234,90 kbps şeklinde olup bu durumda OGP değeri 3,25 olarak elde edilmiştir. Görüldüğü üzere önerilen FF için alınan OGP değeri, VQM ve SSIM ile alınan OGP değerlerine eşit, PSNR ile alınan OGP değerinden ise büyüktür. Buna göre önerilen FF ile daha yüksek bit oranına sahip video elde edilse de OGP değerinin yeterli seviyede olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. Önerilen adaptasyon kararı bulgularının performans değerlendirmesi

Videolar	Hedef Band Genişliği (kb/s)	Hedef Ekran Boyutu	Uzamsal Çözünürlük (GenişlikxUzunluk)								Bit Oranı (kb/s)								OGP				
			Renkli Video				Derinlik Haritası				Önerilen FF		VQM		PSNR		SSIM		Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	
			Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı					
Breakdance	500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	40	352,00	35	482,20	35	482,20	35	482,20	2,50	2,69	2,69	2,69
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	40	467,40	35	482,20	35	482,20	35	482,20	2,50	2,69	2,69	2,69
	2000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.296,30	30	1.010,80	30	1.010,80	30	1.010,80	2,84	2,84	2,84	2,84
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.669,40	30	1.010,80	30	1.010,80	30	1.010,80	2,84	2,84	2,84	2,84
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.296,30	30	1.010,80	30	1.010,80	30	1.010,80	2,84	2,84	2,84	2,84
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.669,40	30	1.010,80	30	1.010,80	30	1.010,80	2,84	2,84	2,84	2,84
	5000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	35	447,00	35	381,00	35	458,80	35	381,00	4,19	4,19	4,19	4,19
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	40	328,60	35	381,00	35	458,80	35	381,00	4,03	4,19	4,19	4,19
Butterfly	500	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.347,20	25	1.012,60	25	1.187,40	25	1.012,60	4,47	4,47	4,47	4,47	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.381,20	25	1.012,60	25	1.187,40	25	1.012,60	4,47	4,47	4,47	4,47
	2000	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.347,20	25	1.012,60	25	1.187,40	25	1.012,60	4,47	4,47	4,47	4,47
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.381,20	25	1.012,60	25	1.187,40	25	1.012,60	4,47	4,47	4,47	4,47
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	40	352,00	35	482,20	35	482,20	35	482,20	2,50	2,69	2,69	2,69
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	40	467,40	35	482,20	35	482,20	35	482,20	2,50	2,69	2,69	2,69
	5000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.296,30	30	1.010,80	30	1.010,80	30	1.010,80	2,84	2,84	2,84	2,84
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.669,40	30	1.010,80	30	1.010,80	30	1.010,80	2,84	2,84	2,84	2,84

Çizelge 4.7. (devamı)

Videolar	Hedef Band Genişliği (kb/s)	Hedef Ekran Boyutu	Uzamsal Çözünürlük (GenişlikxUzunluk)								Bit Oranı (kb/s)								OGP					
			Renkli Video				Derinlik Haritası				Önerilen FF				VQM		PSNR		SSIM		Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM
			Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	Önerilen FF		VQM		PSNR		SSIM							
											NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı						
Windmill	500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	35	403,30	35	335,70	35	354,50	35	354,50	3,75	3,75	3,75	3,75	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	SD	35	467,50	35	335,70	35	354,50	35	372,20	3,75	3,75	3,75	3,75	
	2000	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.828,60	25	1.593,60	25	1.916,50	25	1.681,50	3,97	3,97	3,97	3,97	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	SD	30	916,40	25	1.593,60	25	1.916,50	25	1.773,40	3,84	3,97	3,97	3,97	
	3500	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.828,60	25	1.593,60	25	1.916,50	25	1.681,50	3,97	3,97	3,97	3,97	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	SD	SD	25	2.044,60	25	1.593,60	25	2.008,40	25	1.773,40	3,97	3,97	3,97	3,97	
	5000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	40	452,40	40	357,90	40	357,90	40	357,90	3,88	3,88	3,88	3,88	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	45	307,20	40	357,90	40	357,90	40	357,90	3,75	3,88	3,88	3,88	
Chess	500	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.589,70	30	1.267,50	30	1.589,70	30	1.267,50	4,19	4,19	4,19	4,19		
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.930,20	30	1.267,50	30	1.589,70	30	1.267,50	4,19	4,19	4,19	4,19	
	2000	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	2.957,80	25	2.296,80	25	2.957,80	25	2.296,80	4,41	4,41	4,41	4,41	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	1.930,20	25	2.296,80	25	2.957,80	25	2.296,80	4,19	4,41	4,41	4,41	
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	35	403,30	35	335,70	35	354,50	35	354,50	3,75	3,75	3,75	3,75	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	SD	35	467,50	35	335,70	35	354,50	35	372,20	3,75	3,75	3,75	3,75	
	5000	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.828,60	25	1.593,60	25	1.916,50	25	1.681,50	3,97	3,97	3,97	3,97	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	SD	30	916,40	25	1.593,60	25	1.916,50	25	1.773,40	3,84	3,97	3,97	3,97	

Çizelge 4.7. (devamı)

Videolar	Hedef Band Genişliği (kb/s)	Hedef Ekran Boyutu	Uzamsal Çözünürlük (GenişlikxUzunluk)								Bit Oranı (kb/s)								OGP				
			Renkli Video				Derinlik Haritası				Önerilen FF		VQM		PSNR		SSIM		Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	
			Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı					
Interview	500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	30	453,50	30	397,10	30	451,40	30	451,40	3,91	3,91	3,91	3,91
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	30	252,90	30	397,10	30	451,40	30	451,40	3,81	3,91	3,91	3,91
	2000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.000,00	25	884,60	25	990,30	25	990,30	4,00	4,00	4,00	4,00
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.104,20	25	884,60	25	990,30	25	990,30	4,00	4,00	4,00	4,00
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.000,00	25	884,60	25	990,30	25	990,30	4,00	4,00	4,00	4,00
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.104,20	25	884,60	25	990,30	25	990,30	4,00	4,00	4,00	4,00
	5000	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	45	388,90	45	388,90	45	388,90	45	413,40	3,56	3,56	3,56	3,56
		SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	SD	45	413,40	45	388,90	45	388,90	45	443,80	3,56	3,56	3,56	3,56
Advertisement	500	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	35	1.592,90	35	1.161,40	35	1.592,90	35	1.161,40	3,84	3,84	3,84	3,84	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	SD	40	1.258,10	35	1.161,40	35	1.592,90	35	1.267,00	3,72	3,84	3,84	3,84
	2000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	2.763,60	25	3.442,10	25	3.442,10	25	3.442,10	4,06	4,22	4,22	4,22
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	35	2.122,80	25	3.442,10	25	3.442,10	25	3.442,10	3,84	4,22	4,22	4,22
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	30	453,50	30	397,10	30	451,40	30	451,40	3,91	3,91	3,91	3,91
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	30	252,90	30	397,10	30	451,40	30	451,40	3,81	3,91	3,91	3,91
	5000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.000,00	25	884,60	25	990,30	25	990,30	4,00	4,00	4,00	4,00
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	25	1.104,20	25	884,60	25	990,30	25	990,30	4,00	4,00	4,00	4,00

Çizelge 4.7. (devamı)

Videolar	Hedef Band Genişliği (kb/s)	Hedef Ekran Boyutu	Uzamsal Çözünürlük (GenişlikxUzunluk)								Bit Oranı (kb/s)								OGP					
			Renkli Video				Derinlik Haritası				Önerilen FF				VQM		PSNR		SSIM		Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM
			Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	Önerilen FF		VQM		PSNR		SSIM							
											NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı						
Farm	500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	45	288,30	40	465,10	40	465,10	40	465,10	3,56	3,72	3,72	3,72	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	45	362,80	40	465,10	40	465,10	40	465,10	3,56	3,72	3,72	3,72	
	2000	CIF	CIF	CIF	CIF	CIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	CIF	35	1.079,30	35	1.159,40	35	1.159,40	35	1.159,40	3,84	3,84	3,84	3,84	
		SD	SD	CIF	CIF	CIF	QCIF	CIF	SD	SD	SD	35	1.314,20	35	1.159,40	35	1.252,40	35	1.252,40	3,84	3,84	3,84	3,84	
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	CIF	30	2.016,40	25	3.300,40	25	3.300,40	25	3.300,40	3,94	4,06	4,06	4,06	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	CIF	30	2.445,40	25	3.300,40	25	3.300,40	25	3.300,40	3,94	4,06	4,06	4,06	
	5000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	40	418,40	40	329,70	40	329,70	40	329,70	2,97	2,97	2,97	2,97	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	SD	45	268,40	40	329,70	40	329,70	40	351,10	2,84	2,97	2,97	2,97	
Football	500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	35	922,70	30	1.859,70	30	1.859,70	30	1.859,70	3,16	3,25	3,25	3,25	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	35	1.104,20	30	1.859,70	30	1.859,70	30	1.859,70	3,16	3,25	3,25	3,25	
	2000	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	2.271,70	30	1.859,70	30	2.271,70	30	1.859,70	3,25	3,25	3,25	3,25	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	30	2.670,70	30	1.859,70	30	2.271,70	30	1.859,70	3,25	3,25	3,25	3,25	
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	45	288,30	40	465,10	40	465,10	40	465,10	3,56	3,72	3,72	3,72	
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	45	362,80	40	465,10	40	465,10	40	465,10	3,56	3,72	3,72	3,72	
	5000	CIF	CIF	CIF	CIF	CIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	CIF	35	1.079,30	35	1.159,40	35	1.159,40	35	1.159,40	3,84	3,84	3,84	3,84	
		SD	SD	CIF	CIF	CIF	QCIF	CIF	SD	SD	SD	35	1.314,20	35	1.159,40	35	1.252,40	35	1.252,40	3,84	3,84	3,84	3,84	

Çizelge 4.7. (devamı)

Videolar	Hedef Band Genişliği (kb/s)	Hedef Ekran Boyutu	Uzamsal Çözünürlük (GenişlikxUzunluk)								Bit Oranı (kb/s)								OGP				
			Renkli Video				Derinlik Haritası				Önerilen FF		VQM		PSNR		SSIM		Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	
			Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	Önerilen FF	VQM	PSNR	SSIM	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı	NP	Bit Oranı					
Newspaper	500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	40	421,00	40	384,60	45	234,90	40	384,60	3,34	3,34	3,25	3,34
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	40	456,50	40	384,60	45	234,90	40	384,60	3,34	3,34	3,25	3,34
	2000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	CIF	30	1.852,00	35	1.136,10	35	1.136,10	35	1.193,40	3,63	3,50	3,50	3,50
		SD	SD	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	CIF	SD	CIF	CIF	30	1.943,00	35	1.136,10	35	1.607,10	35	1.193,40	3,63	3,50	3,50	3,50
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	CIF	CIF	CIF	30	2.522,70	30	2.428,20	30	2.428,20	30	1.852,00	3,63	3,63	3,63	3,63
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	SD	SD	SD	SD	30	1.943,00	30	3.469,20	30	3.469,20	30	3.469,20	3,63	3,63	3,63	3,63
	5000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	35	439,90	35	375,00	35	375,00	35	375,00	3,13	3,13	3,13	3,13
		SD	SD	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	40	309,60	35	375,00	35	375,00	35	439,90	3,03	3,13	3,13	3,13
Ballet	500	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.642,20	25	1.402,60	25	1.642,20	25	1.402,60	3,41	3,41	3,41	3,41	
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.919,80	25	1.402,60	25	1.642,20	25	1.402,60	3,41	3,41	3,41	3,41
	2000	CIF	CIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.642,20	25	1.402,60	25	1.642,20	25	1.402,60	3,41	3,41	3,41	3,41
		SD	SD	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	25	1.919,80	25	1.402,60	25	1.642,20	25	1.402,60	3,41	3,41	3,41	3,41
	3500	CIF	CIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	40	421,00	40	384,60	45	234,90	40	384,60	3,34	3,34	3,25	3,34
		SD	SD	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	QCIF	40	456,50	40	384,60	45	234,90	40	384,60	3,34	3,34	3,25	3,34
	5000	CIF	CIF	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	CIF	CIF	CIF	CIF	30	1.852,00	35	1.136,10	35	1.136,10	35	1.193,40	3,63	3,50	3,50	3,50
		SD	SD	QCIF	QCIF	CIF	QCIF	CIF	SD	CIF	CIF	30	1.943,00	35	1.136,10	35	1.607,10	35	1.193,40	3,63	3,50	3,50	3,50

5. SONUÇLAR VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tezde, 3B videolarda izleyicideki derinlik algısını etkileyen uzamsal çözünürlük bağlantılı 2B renkli video ve DH bazlı 3B video özelliklerinin en iyi kombinasyonu temel alınarak sınırlı band genişliğine sahip kanal ve terminal cihaz ekran boyutu kısıtlamaları üzerinde adaptasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda farklı NP değerleri ile kodlanmış 2B renkli videolardan bulanıklık ve hareket bilgisi parametreleri, ilişkili DH'lerden ise ağ katmansal görüntü boyutu ve yakınsama parametreleri elde edilmiştir. Söz konusu parametreler, 2B renkli videolar ve ilişkili DH'ler için ayrı ayrı gerçekleştirilen öznel testlerden elde edilen OGP değerleri ile korelasyon analizine tabi tutulmuştur. Korelasyon analizinin sonucuna göre renkli video ve derinlik algısının birbirlerine göre 3B video algısında ne kadar önemli olduğunu belirleyen renkli video ve derinlik algısı ağırlık fonksiyonları tasarlanmıştır. Ardından bu ağırlıklar ile uzamsal çözünürlük ve toplam bit oranları dikkate alınarak 3B video kombinasyonlarının fayda tabanlı yaklaşımla değerlendirilmesi için bir FF oluşturulmuştur. Böylece tez için adaptasyon kararı alma tekniği geliştirilmiştir. Bunu takiben, geliştirilen adaptasyon karar alma tekniği kullanılarak renkli video ve DH'lerin uzamsal çözünürlüklerinin 3B videoları oluştururkenki kombinasyonlarına bağlı bir 3B video adaptasyonu modeli oluşturulmuştur. Bu model aracılığı ile elde edilen sonuçlardan, farklı uzamsal çözünürlük kombinasyonlarıyla oluşturulan 3B videolar ile sınırlı band genişliğine sahip kanal ve terminal cihaz ekran boyutu kısıtlamalarına takılmadan izleyicide 3B video izleme memnuniyetinin iyi bir performansla elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Gelecekteki çalışmalarda derinlik algısını etkileyen daha farklı unsurların da eklenmesi ve daha farklı kısıtlamaların da dikkate alınması ile bu çalışmada tasarlanan adaptasyon modelinin geliştirilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Perkis, A., Abdeljaoued, Y., Christopoulos, C., Ebrahimi, T., Chicharo, J. F., Universal Multimedia Access From Wired and Wireless Systems, Circuits, Systems and Signal Processing, Vol.20, No.3, pp.387–402, Mayıs 2001.
- [2] Rao, K. R., Bojkovic, Z. S., Milovanovic, D. A., Introduction to Multimedia Communications: Applications, Middleware and Networking, s.208, Wiley, 2006.
- [3] Nur, G., Arachchi, H. K., Doğan, Ş., Kondoç, A. M., Evaluation of Quality Scalability for Bit Rate Adaptation of Scalable Video Content, 10th Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, pp.218 – 221, 2009.
- [4] Bayrakdar, Y., Kantarcı, A., Geleceğin Çokluortam Erişim Standartları: MPEG-7 ve MPEG-21, Akademik Bilişim'07 – IX. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Kütahya, s.54, Ocak – Şubat 2007.
- [5] Önür, Ö. D., Optimal Video Adaptation For Resource Constrained Mobile Devices Based On Utility Theory, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2003.
- [6] Aubry, W., Negru, D., Gal, B. L., Desfarges, S., Dallet, D., A Generic Video Adaptation Framework Towards Content- And Context-Awareness In Future Networks, 2012 Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Bükreş, s.2218, Ağustos 2012.
- [7] ITU Broadband Commission, “The State of Broadband 2018: Broadband Catalyzing Sustainable Development”, ITU, Eylül 2018.
- [8] “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017 – 2022”, Cisco, 2019.
- [9] Morgül, A., Sayısal Televizyon Tekniği, Papatya Bilim Yayınevi, İstanbul, 2011.
- [10] Wang, Y., Resource Constrained Video Coding/Adaptation, Doktora Tezi, Columbia University, 2005.

- [11] Önür, Ö. D., Alatan, A. A., Video Adaptation for Transmission Channels by Utility Modeling, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), The Netherlands, 2005.
- [12] Cheng, W. H., Wang, C. W., Wu, J. L., Video Adaptation for Small Display Based on Content Recomposition, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 17, Issue.1, pp.43-58, 2007.
- [13] Chang, S. F., Vetro, A., Video Adaptation: Concepts, Technologies, and Open Issues, Proceedings of the IEEE, Vol.93, Issue.1, pp.148 – 158, 2005.
- [14] Chang, S. F., Optimal Video Adaptation and Skimming Using a Utility-Based Framework, International Workshop on Digital Communications, Capri Island, Italy, 2002.
- [15] Nur, G., Arachichi, H. K., Doğan, S., Kondoç, A. M., Seamless Video Access for Mobile Devices by Content – Aware Utility – Based Adaptation, Multimedia Tools and Applications, Volume 70, Issue 2, pp 689–719, May 2014.
- [16] López, F., Martínez, J. M., Valdés, V., Multimedia Content Adaptation Within the CAIN Framework Via Constraints Satisfaction and Optimization, International Workshop on Adaptive Multimedia Retrieval AMR 2006 Adaptive Multimedia Retrieval: User, Context, and Feedback, Lecture Notes in Computer Science, vol.4398, pp.149 – 163, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [17] Jannach, D., Leopold, K., Knowledge-Based Multimedia Adaptation for Ubiquitous Multimedia Consumption, Journal of Network and Computer Applications, Vol.30, Issue.3, pp.958 – 962, 2007.
- [18] López, F., Jannach, D., Martínez, J. M., Timmerer, C., Hellwagner, H., García, N., Multimedia Adaptation Decisions Modelled as Non-Deterministic Operations, 2008 Ninth International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, Klagenfurt, Austria, 2008.
- [19] Berhe, G., Brunie, L., Pierson, J. M., Planning-Based Multimedia Adaptation Services Composition for Pervasive Computing, 2009 Fifth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems, Marrakesh, Morocco, 2009.

- [20] López, F., Nur, G., Doğan, S., Arachchi, H. K., Mrak, M., Martínez, J. M., García, N., Kondo, A., Improving Scalable Video Adaptation In A Knowledge-Based Framework, 11th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services WIAMIS 10, Desenzano del Garda, Italy, 2010.
- [21] Prangl, M., Szkaliczki, T., Hellwagner, H., A Framework for Utility-Based Multimedia Adaptation, IEEE Transactions on Circuits And Systems For Video Technology, Vol.17, Issue. 6, June 2007.
- [22] Erten, M. Y., 2-Boyutlu Video ve Derinlik Haritası Temelli 3-Boyutlu Video Kalite Değerlendirmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2016.
- [23] <https://www.studio3d.com/pages/stereovideo.html>, Erişim: 09.07.2019.
- [24] <http://blog.mediacoderhq.com/...3d-video-content/>, Erişim:08.07.2019.
- [25] https://users.cs.cf.ac.uk/...real_depth_map_ps, Erişim: 27.07.2018.
- [26] Cagnazzo, M., Popescu, B. P., Dufaux, F., 3D Video Representation and Formats, Emerging Technologies for 3D Video: Creation, Coding, Transmission, and Rendering, p.106, Edited by Cagnazzo, M., Popescu, B. P., Dufaux, F., Wiley, 2013.
- [27] Smirnov, S., Gotchev, A., Egiazarian, K., Methods for Depth – Map Filtering in View – Plus – Depth 3D Video Representation, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2012, 2012:25, p.3, December 2012.
- [28] <http://www.xaviermartinvfx.com/.../stereo-3d-conversion-2/>, Erişim:08.07.2019.
- [29] Robitza, W., 3D Vision: Technologies and Applications, SE Selected Topics in Multimedia 2012.
- [30] <https://www.cns.nyu.edu/...notes/depth/depth-size.html>, Erişim: 14.08.2019.
- [31] <https://www.elektrikport.com/makale-detay...image-0>, Erişim: 08.07.2019.
- [32] <https://science.howstuffworks.com/3-d-glasses2.htm>, Erişim: 08.07.2019.
- [33] <http://www.wikizero.biz/index.php...LmdpZg>, Erişim: 08.07.2019.

- [34] Drascic, D., Grodski, J. J., Defence Teleoperation and Stereoscopic Video, Proc. of Knowledge – Based Systems & Robotics Workshop, Kingston, ON, Canada, 1993.
- [35] Holliman, N., 3D Display Systems, Department of Computer Science University of Durham, Science Laboratories, Durham, UK, 2005.
- [36] <http://www.wikizero.biz/index.php...Njb3B5>, Erişim: 09.07.2019.
- [37] Perlin, K., Paxia, S., Kollin, J. S., An Autostereoscopic Display, Proc. of the ACM SIGGRAPH 2000 Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.319 – 326, New Orleans, LA, United States, 2000.
- [38] Rogmans, S., Dumont, M., Lafruit, G., Bekaert, P., Biological – Aware Stereoscopic Rendering in Free Viewpoint Technology Using GPU Computing, 2010 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, Finlandiya, 2010.
- [39] Overes, J., Occlusion Filling in Depth – Image – Based Rendering, Master Thesis, Delft University of Technology Faculty of Electrical Engineering, Hollanda, 2009.
- [40] olak, E., Korelasyon Analizi Ders Notu, Osmangazi Üniversitesi.
<http://eczacilik.anadolu.edu.tr/...pdf>, Erişim: 14.11.2019.
- [41] Köse, S., Korelasyon ve Regresyon Analizi Ders Notu.
http://file.toraks.org.tr/.../Kenan_KOSE3.pdf, Erişim: 14.11.2019.
- [42] Gültekin, F., Korelasyon Analizi Ders Notu.
<https://docplayer.biz.tr/...fikretgultekin-com-1.html>, Erişim: 14.11.2019.
- [43] Şehirli, K., İstatistik-II Korelasyon ve Regresyon Ders Notu.
http://kisi.deu.edu.tr/.../korelasyon_regresyon.pdf, Erişim: 14.11.2019.
- [44] <https://www.slideserve.com/...korelasyon-analizi>, Erişim: 14.11.2019.
- [45] <https://kredi-hesaplama.com/kovaryans...korelasyon-nedir/>, Erişim: 14.11.2019.
- [46] Köklü, N., Büyüköztürk, Ş., okluk Bökeoğlu, Ö., Sosyal Bilimler İçin İstatistik, Pegem Yayıncılık, Ankara, 2006.

- [47] Bocheck, P., Nakajima, Y., Chang, S. F., Real – Time Estimation of Subjective Utility Functions for MPEG – 4 Video Objects, Proc. of IEEE Packet Video Workshop, Newyork, USA, April 1999.
- [48] Kim, M. B., Nam, J., Baek, W., Son, J., Hong, J., The Adaptation of 3DStereoscopic Video in MPEG-21 DIA, Signal Processing: Image Communication, Vol.18, Issue.8, pp.685 – 697, Elsevier B. V., September 2003.
- [49] Mukherjee, D., Delfosse, E., Kim, J. G., Wang, Y., Optimal Adaptation Decision – Taking for Terminal and Network Quality of Service, IEEE Transactions on Multimedia, Vol.7, Issue.3, pp.454 – 462, June 2005.
- [50] Önür, Ö. D., Alatan, A. A., Video Adaptation for Transmission Channels by Utility Modeling, 2005 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Amsterdam, The Netherlands, 2005.
- [51] Wang, Y., Kim, J. G., Chang, S. F., Kim, H. M., Utility – Based Video Adaptation for Universal Multimedia Access (UMA) and Content – Based Utility Function Prediction for Real – Time Video Transcoding, IEEE Transactions on Multimedia, Vol.9, Issue.2, pp.213 – 220, June 2007.
- [52] Kopf, S., Effelsberg, W., Color Adaptation of Videos for Mobile Devices, IS&T/SPIE Electronic Imaging (EI), Vol. 6507, San Jose, CA, USA, February 2007.
- [53] Prangl, M., Szkaliczki, T., Hellwagner, H., A Framework for Utility – Based Multimedia Adaptation, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.17, Issue.6, pp.719 – 728, June 2007.
- [54] Önür, Ö. D., Alatan, A. A., Video Adaptation Based on Content Characteristics and Hardware Capabilities, Second International Workshop on Semantic Media Adaptation and Personalization (SMAP 2007), Uxbridge, UK, 2007.
- [55] Sofokleous, A. A., Angelides, M. C., DCAF: An MPEG – 21 Dynamic Content Adaptation Framework, Multimedia Tools and Applications, Volume 40, Issue 2, pp.151–182, November 2008.

- [56] Kim, S., Yoon, Y., Universal Video Adaptation Model for Contents Delivery using Focus Of Choice Model, 2008 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking, pp.46 – 49, Hainan Island, China, December 2008.
- [57] Nur, G., Kodikara Arachchi, H., Doğan, Ş., Kondoç, A. M., A Novel Scalability Adaptation Concept for Higher R-D Performances of Scalable Video, Proceedings of the ICT Mobile and Wireless Communications Summit (ICT-MobileSummit 2009), Santander, Spain, June 2009.
- [58] Shen, Q., Li, H., Wu, F., Content – Based Hierarchical Motion Description for Multiple Video Adaptation, 2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, New York, USA, 2009.
- [59] Nur, G., Arachchi, H. K., Doğan, Ş., Kondoç, A. M., Ambient Illumination as a Context for Video Bit Rate Adaptation Decision Taking, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.20, Issue.12, pp.1887 – 1891, December 2010.
- [60] López, F., Nur, G., Doğan, Ş., Arachchi, H. K., Mrak, M., Martínez, J. M., García, N., Kondoç, A., Improving Scalable Video Adaptation in a Knowledge – Based Framework, 11th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services WIAMIS 10, Desenzano del Garda, Italy, 2010.
- [61] Huang, H. J., Zhang, X. M., Xu, Z. W., Semantic Video Adaptation Using a Preprocessing Method for Mobile Environment, 2010 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT 2010), pp.2806 – 2810, Bradford, UK, 2010.
- [62] Xue, J., Chen, C. W., Towards Viewing Quality Optimized Video Adaptation, 2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Barcelona, Spain, 2011.
- [63] Nur, G., Arachchi, H. K., Doğan, Ş., Kondoç, A. M., Advanced Adaptation Techniques for Improved Video Perception, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.22, Issue.2, pp.225 – 240, February 2012.

- [64] Li, M., Chen, Z., Tan, Y. P., QoE Analysis for Scalable Video Adaptation, 2012 Visual Communications and Image Processing, pp.1 – 6, San Diego, CA, USA, 2012.
- [65] Liu, Y., Ci, S., Liu, J., Ye, Y., Qi, Y., Integrating Stereoscopic Image Transcoding with Retargeting for Mobile Streaming, 2012 Visual Communications and Image Processing, San Diego, CA, USA, 2012.
- [66] Liu, Y., Ci, S., Tang, H., Ye, Y., Liu, J., QoE-Oriented 3D Video Transcoding for Mobile Streaming, ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications & Applications, Vol.8, Issue.S3, Article.42, pp.1 – 20, September 2012.
- [67] Dabellani, E., Rabah, H., Marques, N., Berviller, Y., Jovanovic, S., Weber, S., Modeling and FPGA Implementation of Reconfigurable Transcoder for Real Time Video Adaptation, 2013 IEEE 20th International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2013.
- [68] Uitto, M., Vehkaperä, J., Enhanced Quality Adaptation Strategies for Scalable Video, IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Athens, Greece, 2013.
- [69] López, J. P., Slanina, M., Arnaiz, L., Menéndez, J. M., Subjective Quality Assessment in Scalable Video for Measuring Impact Over Device Adaptation, EuroCon 2013, pp.162 – 169, Zagreb, Croatia, July 2013.
- [70] Yılmaz, G. N., Arachichi, H. K., Doğan, Ş., Kondoç, A., 3D Video Bit Rate Adaptation Decision Taking Using Ambient Illumination Context, Engineering Science and Technology, an International Journal 17, pp.105-115, 2014.
- [71] Yılmaz, G. N., A Bit Rate Adaptation Model for 3D Video, Multidimensional Systems and Sign Processing, Volume.27, Issue.1, pp.201–215, January 2016.
- [72] Ghoreishi, S. E., Aghvami, A. H., Power-Efficient QoE-Aware Video Adaptation and Resource Allocation for Delay-Constrained Streaming Over Downlink OFDMA, IEEE Communications Letters, Vol.20, Issue.3, pp.574 – 577, 2016.

- [73] Abrahamsson, A., Variance Adaptive Quantization and Adaptive Offset Selection in High Efficiency Video Coding, Uppsala Universitett, February 2016.
- [74] <http://zoi.utia.cas.czde/composition>, Erişim:22.03.2019.
- [75] <http://www.camerarepair.org/...optical-blur/>, Erişim:22.03.2019.
- [76] Punchihewa, G. A. D., Bailey, D. G., Hodgson, R. M., Objective Evaluation of Edge Blur and Ringing Artefacts: Application to JPEG and JPEG 2000 Image Codecs, Image and Vision Computing, Vol.1, p.61, Dunedin, New Zealand, 2005.
- [77] Marichal, X., Ma, W. Y., Zhang, H. J., Blur Determination in the Compressed Domain Using DCT Information, Proceedings 1999 International Conference on Image Processing, Kobe, Japan, 1999.
- [78] Marziliano, P., Dufaux, F., Winkler, S., Ebrahimi, T., A No-Reference Perceptual Blur Metric, International Conference on Image Processing, Rochester, NY, USA, 2002.
- [79] Cavedes, J., Gurbüz, S., No-Reference Sharpness Metric Based on Local edge Kurtosis, International Conference on Image Processing, Rochester, NY, USA, 2002.
- [80] Ong, E. P., Lin, W., Lu, Z., Yang, X., Yao, S., Pan, F., Jiang, L., Moschetti, F., A No-Reference Quality Metric for Measuring Image Blur, Seventh International Symposium on Signal Processing and Its Applications, Paris, France, 2003.
- [81] Hu, H., Haan, G., Low Cost Robust Blur Estimator, 2006 International Conference on Image Processing, Atlanta, GA, USA, 2006.
- [82] Crete, F., Dolmiere, T., Ladret, P., Nicolas, M., The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-Reference Perceptual Blur Metric, SPIE Electronic Imaging Symposium Conference Human Vision and Electronic Imaging, Vol.6492, San Jose, United States, January 2007.
- [83] De, K., Masilamani, V., Image Sharpness Measure for Blurred Images in Frequency, International Conference on DESIGN AND MANUFACTURING,

- IConDM 2013, Procedia Engineering, Vol.64, pp.149 – 158, Elsevier P. V., 2013.
- [84] Horn, B. K. P., Schunck, B. G., Determining Optical Flow, Artificial Intelligence, Vol.17, Issues.1 – 3, pp.185 – 203, August 1981.
- [85] Negahdaripour, S., Revised Definition of Optical Flow: Integration of Radiometric and Geometric Cues for Dynamic Scene Analysis, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol:20, No:9, 1998.
- [86] Özüntürk, E., Optik Akış ile Hareket Tespiti, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2007.
- [87] Guix, D. C., Real-Time Face Tracking Methods, Universitat Autònoma de Barcelona, Spain, s.25-26, 2009.
- [88] Gültekin, G.K., An FPGA Based High Performance Optical Flow Hardware Design for Autonomous Mobile Robotic Platforms, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, s.3, Ankara, Eylül 2010.
- [89] Rauet, N. Z., Optical Flow Segmentation for Pedestrian Detection, Barselona Katalonya Politeknik Üniversitesi Görsel İşitsel Sistemler Mühendisliği Bölümü Tezi, p.20, Barcelona, Spain, 2016.
- [90] Bradski, G., Kaehler, A., Learning OpenCV, O'Really Media, USA, s.328, 2008.
- [91] Sincan, Ö. M., Hareketli Kameralarda Hareketli Nesnelerin Tespiti ve Sınıflandırılması, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, s.19-20, Ankara, 2015.
- [92] Huang, Y., Measuring Flow in Digital Video Containing Smoke and Gas, University of Gävle Faculty of Engineering and Sustainable Development Computer Science Program, Yüksek Lisans Tezi, Sweden, 2011.
- [93] <https://scontent-vie1-1.xx.fbcdn.net/...=5DA7843D>, Erişim: 09.07.2019.
- [94] <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/...node4.html>, Erişim: 09.07.2019.

- [95] Horn, B., Schunck, B., Determining Optical Flow, Artificial Intelligence, Vol.17, s.188, 1981.
- [96] Shechtman, E., Caspi, Y., Irani, M., Space – Time Super – Resolution, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.27, No.4, pp. 531 – 545, April 2005.
- [97] <https://socratic.org/questions/why-...-progressive>, Erişim:11.06.2019.
- [98] E. Bruce Goldstein, Sensation and Perception, Cengage Learning, p.247, 2009.
- [99] Edwin Boring, Size Constancy and Emmert’s Law, The American Journal of Psychology, Vol.53, No.2, pp.293 – 295, April 1940.
- [100] Gleitman, H., Gross, J., Reisberg, D., Psychology, 8th Edition, p.198, W. W. Norton & Company, Inc., New York – London, 2011.
- [101] http://www.utdallas.edu/.../Ch06_Lecture-ff.ppt.pdf, Erişim:14.08.2019.
- [102] Thomas, E., Cantfort, V., Depth Perception, Sensation and Perception PSYC420-01 Ders Notları, Fayetteville State University.
- [103] Low, M. M., Creating Better Stereo 3D for Animated Movies, Yüksek Lisans Tezi, Cornell University, s.12 – 13, New York, USA, 2011.
- [104] <http://howthingswork.org/biologyelectronics-...-movie/>, Erişim: 11.06.2019.
- [105] Mittal, A., Moorthy, A.K., Ghosh, J., Bovik, A. C., Algorithm Assessment of 3D Quality of Experience for Images and Videos, 2011 Digital Signal Processing and Signal Processing Education Meeting (DSP/SPE), Sedona, AZ, USA, 4–7 January 2011.
- [106] Reichelt, S., Haussler, R., Fütterer, G., Leister, N., Depth Cues in Human Visual Perception and Their Realization in 3D Displays, Proc. SPIE 7690, Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010 and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics IV, Orlando Florida, USA, 2010.
- [107] ITU – R, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, Recommendation ITU-R BT.500-13, ITU, Geneva, 2012.

[108] Akramullah, S., Digital Video Concepts, Methods, and Metrics: Quality, Compression, Performance, and Power Trade-off Analysis, Chapter 4, pp.132 – 135, Apress Media LLC, New York, USA, 2014.

