

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNİN YANILTILMASINA KARŞI BİR YÖNTEM:
YÜZ VİDEOLARINDA NABİZ TESPİTİ İLE CANLILIK DOĞRULAMASI**

ALİ UFUK YAMAN

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2018

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ali Ufuk YAMAN tarafından hazırlanan “Yüz Tanıma Sistemlerinin Yanıtılmasına Karşı Bir Yöntem: Yüz Videolarında Nabız Tespiti ile Canlılık Doğrulaması” adlı tez çalışması 12/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Refik Samet 
Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Suat ÖZDEMİR 
Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hacer KELEŞ 
Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Refik SAMET 
Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

12/06/2018



Ali Ufuk YAMAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜZ TANIMA SİSTEMLERİNİN YANILTILMASINA KARŞI BİR YÖNTEM: YÜZ VİDEOLARINDA NABIZ TESPİTİ İLE CANLILIK DOĞRULAMASI

Ali Ufuk Yaman

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Refik SAMET

Günümüzde kimlik saptama amaçlı kullanılan biyometrik teknolojiler, güvenlik, erişim, kontrol, takip gibi alanlarda aktif olarak rol almaktadır. Bu teknolojilerden biri olan yüz tanıma sistemi, diğer biyometrik sistemlere göre temassızlık ve günlük hayatımıza yerleşmiş bulunan düşük maliyetli kameralar sayesinde daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Bu avantajlarının yanında bir takım güvenlik zaafiyetlerini de bünyesinde barındıran yüz tanıma sistemi, yakın gelecekte internet alışverişlerinde ödemeyi herhangi başka bir bilgiye ihtiyaç duymaksızın yüz bilgisiyle onaylamak gibi yüksek güvenlik ihtiyacı duyulan işlemler için de kullanılacağı düşünüldüğünde, sisteminin yanıtılması gibi tehditlerin daha hassas ele alınmasını gerektirmektedir. Mevcut kullanılan yüz tanıma sistemlerinin, kameraya ilgili kişiye ait görüntü, video ya da üç boyutlu yapay maske gösterilmesi suretiyle aşılabildiği bilinmektedir. Bu gibi güvenlik zaafiyetleri, kişinin göz kırpması ve mimiklerinin tespiti ile canlılığının doğrulanması yöntemiyle giderilmesi amaçlanmış fakat yeteri başarıya ulaşamamış ve üç boyutlu maskelere çözüm üretememiştir. Günümüzde kamera ile yüz bölgesinin analiz edilerek kişinin nabzının yüksek doğrulukta ölçülebildiği çeşitli çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bu projede, kişinin kamera önündeki hareketlerinden ve ortamın değişkenlerinden minimum düzeyde etkilenen bir nabız tespit sistemi geliştirilerek yüz tanıma sistemine entegre edilmesi ile yüz tanıma sisteminin aynı zamanda canlılık tespiti yapabilmesi ile bahsedilen bu güvenlik zaafiyetinin giderilmesi amaçlanmıştır.

Haziran 2018, 64 sayfa

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Uzaktan Fotopletismografi, Yüz Tespiti, Yanıltıcı Saldırı, Nabız Ölçümü, Canlılık Tespiti

ABSTRACT

Master Thesis

AN ANTI-SPOOFING METHOD FOR FACE RECOGNITION SYSTEMS: LIVENESS VERIFICATION WITH PULSE MEASUREMENT ON FACE VIDEOS

Ali Ufuk Yaman

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Refik SAMET

Today, biometric technologies are used for identification purposes like security, access control and follow-up. Face recognition, one of these systems, has become more preferred due to low cost cameras installed in all over our daily life and due to being non-contact compared to the other biometric systems. In addition to these advantages, face recognition systems which also contain numerous security vulnerabilities, require more precise handling of threats such as spoofing the system as they are considered to be used for transactions requiring advanced security protection like approving payment with face information without supplying any other information on internet shoppings in the near future. It is known that the currently used face recognition systems can be spoofed by displaying image, video or 3D artificial realistic mask of the person to the camera. Such security weaknesses have been aimed to be resolved by verifying the liveness of the person by analyzing blinking and mimics but the success has not been satisfactory or achieved for 3D masks attacks. Nowadays, it has been proven through various studies that the pulse of the person can be measured with high accuracy by analyzing the face region with a standard camera. In this study, it is aimed to eliminate this security weaknesses by integrating a pulse detection system to the face detection system that is minimally affected by the movement of the person and the environment variables.

June 2018, 64 pages

Keywords: Image Processing, Remote Photoplethysmography, Face Detection, Spoofing Attack, Heart Rate Measurement, Liveness Detection

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarımı yönlendiren, araőtırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek bu çalışmanın ortaya çıkmasında büyük emeği bulunan danışman hocam sayın Prof. Dr. Refik SAMET'e (Ankara Ünisitesini Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı) en derin duygularımınla teşekkür ederim.

Çalıőmalarım süresince fedakârlık göstererek beni destekleyen ve her an yanımda olan anneme, babama, kardeőim Hümeýra ve Zehra'ya, dostlarıma ve özellikle engin bilgisi ve yardımseverliği ile bu tezin ortaya çıkmasında önemli bir yeri olan, her daim her koşulda benden yardımını esirgemeyen sevgili dostum Taymaz Rahkar FARSHI'ye teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Ali Ufuk YAMAN

Ankara, Haziran 2018

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1 Fotoğraf ve Video Saldırılarını Önlemek Amacıyla Yapılmış Çalışmalar	5
2.2 RPPG ile Nabız Ölçümü Üzerine Yapılmış Çalışmalar	7
2.3 RPPG ile Canlılık Tespiti Üzerine Yapılmış Çalışmalar	14
2.4 Bölüm Değerlendirmesi	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	16
3.1 RPPG Sinyalinin Çıkartılması	18
3.1.1 Yüz bulma ve ROI belirleme	19
3.1.2 ROI filtreleme	24
3.1.3 Sinyal filtreleme	31
3.2 Sinyalin Eğitilmesi ve Testi	33
3.3 Bölüm Değerlendirmesi	34
4. ÖNERİLEN METODOLOJİNİN UYGULANMASI ve SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	35
4.1 Uygulama Platformu	35
4.2 Veri Kümesi	35
4.3 Önerilen Metodolojinin Uygulanması	36
4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	42
5. SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	54

KISALTMALAR DİZİNİ

3B	Üç Boyut
AEYHU	Ayırt Edici Yanıt Haritası Uyumu
BSS	Blind Source Seperation (Kör kaynak Ayrımı)
CNN	Convolutional Neural Networks (Evrışimsel Sinir Ağları)
HR	Heart Rate (Nabız)
HUE	Hue-Saturation-Value (Renk Tonu-Doygunluk-Parlaklık)
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FL	Facial Landmarks (Yüz İşaret Noktaları)
FPS	Frame per Second (Saniye Başına Görüntü Karesi)
ICA	Independent Component Analysis (Bağımsız Bileşen Analizi)
LBP	Local Binary Pattern (Yerel İkili Desen)
LOOCV	Leave One Out for Cross Validation (Bir Çıkarımlı Çapraz Doğrulama)
OPENCV	Open Source Computer Vision
PPG	Photophlethismography (Fotopletismografi)
RFC	Random Forest Seperation (Rastgele Orman Sınıflandırıcısı)
RGB	Red-Green-Blue (Kırmızı-Yeşil-Mavi)
ROI	Region of Interest (İlgi Alanı)
RPPG	Remote Photoplethysmography (Uzaktan Fotopletismografi)
SVM	Suppor Vector Macnhines (Destek Vektör Makineleri)
USAE	Uzaklaştırılmış Seviye Ayarlı Evrim

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Yüzden 4 bölge için çıkarılan RPPG sinyalleri (Verkruysse vd. 2008)	9
Şekil 2.2 Kalp ritmi çıkartma işlemi şeması (Poh vd. 2010)	10
Şekil 2.3 Önerilen HR ölçüm sistemi (Lam ve Kuno 2015)	12
Şekil 2.4 Önerilen yöntemin görsel çıktısı (Wu vd. 2012)	14
Şekil 3.1 Önerilen metodolojinin akış diyagramı	17
Şekil 3.2 RPPG çalışmalarının genel bir özeti	18
Şekil 3.3 Yüzdeki FL'ler yardımıyla ROI'nin belirlenmesi	22
Şekil 3.4 ROI'de x düzlemine göre açı olması durumunda ROI'nin köşe noktalarının açı bilgisi ile hesaplanması	24
Şekil 3.5 RGB ve HSV renk uzayları	26
Şekil 3.6 İki ardışık görüntü arasındaki fark	27
Şekil 3.7 Görüntü histogram örneği	28
Şekil 3.8 Yüz ROI'sinde istenmeyen bölgelerin eşikleme ile elenmesi	29
Şekil 3.9 ROI'nin filtrelenmesi aşaması	30
Şekil 3.10 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş RPPG Sinyalleri	31
Şekil 4.1 Rastgele iki görüntü çerçevesi için seçilen ROI'ler	37
Şekil 4.2 Filtrelenmiş ve filtrelenmemiş ROI'lerin RPPG sinyal kalitesine etkisi	38
Şekil 4.3 Görüntü karesinin sinyal alınana kadar geçtiği aşamalar	39
Şekil 4.4 RPPG sinyalinin işlenmesi aşaması	40
Şekil 4.5 Eğitim ve saldırı örnek görüntüleri	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 G kanalında FFT dönüşümsüz başarı oranları	44
Çizelge 4.2 H kanalında FFT dönüşümsüz başarı oranları	44
Çizelge 4.3 G ve H kanalında FFT dönüşümsüz başarı oranları.....	45
Çizelge 4.4 G kanalında FFT dönüşümlü başarı oranları	45
Çizelge 4.5 H Kanalında FFT dönüşümlü başarı oranları	46
Çizelge 4.6 H ve G kanalında FFT dönüşümlü başarı oranları.....	46
Çizelge 4.7 RPPG yöntemi ile canlılık doğrulaması sistemlerinin karşılaştırılması	47
Çizelge 4.8 Diğer yöntemler ile aynı veri setleri üzerinde canlılık doğrulama sistemlerinin karşılaştırılması.....	47

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte günümüzde kameralar, hayatımızın birçok alanına yerleşmiş ve aktif olarak kullanılmaktadırlar. Cebimizdeki mobil cihazlarda, cadde ve binalarda, medya sektöründe, savuma sanayinde, tıp ve birçok bilim alanında, kısaca insanın ve görsel gözlemlemenin olduğu her yerde güvenlikten eğlenceye insan yaşamına birçok katkı sağlamaktadırlar. Son yıllarda maliyetinin makulleşmesiyle birlikte her kesim tarafından her türlü amaç için kullanılmaktadırlar. Hal böyle olunca kamera kaynaklı yazılımlar da ilgi çekmiştir. Özellikle kamera temelli toplum güvenliği ve siber güvenlik amaçlı yazılımlar oldukça önem kazanmıştır. Yine buna benzer ve ilişkili sistemlerden birisi olan biyometrik kontrol sistemleri de aynı derecede önem arz etmiş ve günümüzde yetkilendirme ihtiyacı duyulan yerlerde aktif olarak kullanılan sistemlerden birisi olmuştur. Güvenlik ve biyometrik tanıma alanında günümüzde belli bir başarıya ulaşılmış ve halen çalışılmakta olan bu sistemlerden birisi de yüz tanıma sistemleridir.

Yüz tanıma sistemleri, biyometrik tanıma sistemleri içerisinde başarısı ve kullanım kolaylığı açısından en önemli olanı ve en çok tercih edilenidir. Ekstra donanım gerektiren parmak ve retina tarayıcı sistemlerin aksine sadece standart bir kamerayla yapılabilmesinin yanında aranan kişi tespiti gibi genel güvenlik kameralarda kişinin kontrollü bir kullanıcı olmadığı, sistemden bihaber olduğu durumlarda da uygulanabilir bir sistemdir. Bu sebeplerden ötürü bugün birçok amaç doğrultusunda, hayatımızın çoğu noktasında yüz tanıma sistemlerine rastlamaktayız. Yüz tanıma sistemleri temel olarak, görüntüdeki yüz bölgesinin çeşitli amaçlar için kullanılmak üzere bazı algoritmalar yardımıyla tespit edilmesi ve devamında eşgal tespiti için ise yüz tespiti sonrasında bu yüzlerin daha önce sisteme tanıtılmış örnekleri ile eşleştirme yapılarak eşgal saptamak ya da otomatik kimliklendirme yapılarak sistem giriş çıkışlarının kontrolünde kullanılmaktadır. Yüz tanıma sistemleri günümüzde güvenlik, otomatik kimliklendirme, kontrol ve eğlence amacıyla kullanılmaktadır.

Bahsedilen bu kullanım alanlarının dışında, yüz tanıma sistemlerinin uygulanabilir olduğu daha birçok alan olsa da, başarımı yüksek olmasına rağmen yüz tanıma

sistemleri halen ciddi potansiyel güvenlik açıkları içermektedir ve bu riskler güvenlik öncelikli uygulamalara engel teşkil etmektedir. Örneğin bugün birçok banka ve çevrimiçi alışveriş şirketleri, müşterilerine ve kendilerine büyük kolaylık sağlayacak şekilde ödeme işlemlerini yüz bilgisi ile gerçekleştirmeyi planlasalar da bu güvenlik açıkları nedeniyle projelerini hayata geçirmekte zorluklar yaşamaktadırlar. Yüz tanıma sistemi ile kredi kartı bilgisi girmeden ödeme yapabilmek müşteri ve satıcı için büyük kolaylık sağlayacak olsa da işin içinde parasal aktarım olduğu için yüz tanıma sisteminin bir şekilde aşılması ihtimali bu uygulamaların hayata geçmesi için risk arz etmektedir. Yüz tanıma sistemlerinin, kişinin yüz bilgisinin fotoğraf ya da video olarak ele geçirilmesi ve kişinin kayıtlı olduğu bu sisteme kişiyi taklit edecek şekilde sunulması şeklinde sistemlerin aşılabildiği bugün çeşitli testlerle ispatlanmıştır (Kumar vd. 2017). Kamera ya da videonun gösterilmesi suretiyle sistemin kandırılarak aşılması durumu için birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve belli bir oranda başarı sağlamıştır. Bu yöntemlerin başında görüntüde mimik arama ya da görüntüyü gerçeklik açısından analiz etme ile fotoğraf saldırıları önlenebilmiştir. Yine aynı şekilde görüntünün özyapısı, dokusu ve görüntü kareleri arasındaki ilişki analiz edilerek video saldırılarına belirli çözümler üretilmiştir. Tüm bunların yanında, yakın zamanlarda üç boyutlu (3B) yazıcıların ortaya çıkması ve gayet başarılı ürünler çıkarması ile birlikte yüz tanıma sistemlerine yeni bir tehdit doğmuştur: üç boyutlu gerçekçi maskeler. Bir şekilde kişinin yüz bilgileri ele geçirilip bu bilgiler doğrultusunda üretilen gerçekçi 3B lateks ve silikon maskeler, bahsedilen bu iki türlü saldırı kategorisine de girmeyip yüz tanıma sistemlerini aşabilen yeni bir tehdit unsuru olarak ortaya çıkmıştır. Kişinin yüzünü tamamen temsil eden bu maskeler giyildiğinde mimikler dâhil kişiye ait birçok gerçekçi unsur taklit edilebilmektedir. Bu durum için, ten özneliklerinden faydalanmak amacıyla termal ya da kızılötesi sensörler gibi donanım tabanlı bazı çözümler önerilmiş olsa da, hâlihazırda kullanılan yüz tanıma sistemlerine donanım ekleme zahmetli ve masraflı bir durum olduğundan çok da genel ve çekici bir çözüm olmamıştır.

Diğer taraftan, kameralar yukarıda bahsedilen kullanım alanları dışında farklı yeteneklere de sahiptir. Kameralar, insan görsel sisteminin çıplak gözlerle ayırt edemeyeceği ince detayları ortaya çıkarabilmektedirler. Örneğin, videoların birbirini takip eden görüntü çerçevelerinden oluştuğu düşünülürse, iki çerçeve arasında

gerçekleşen çok küçük değişimler insan tarafından algılanamazken ya da algılansa bile yorumlanamazken, kameraların verdiği bu bilgi bilgisayar ortamında ortaya çıkarılıp yorumlanabilmektedir. Sabit bir kamera analiziyle nesnelere küçük hareketlerinin ya da küçük renk değişimlerinin yakalanması bu durumlara örnek verilebilir. Bir kısmı hali hazırda çalışılmış ve kullanılmakta olan bu yöntemlerden birisi de Uzaktan Fotopletismografi'dir (RPPG). Fotopletismografi genel olarak, kalbin kan pompalamasıyla birlikte deride oluşan küçük renk değişimlerinin incelenmesiyle dolaşım sistemine dair bilgiler elde edilmesine dayanan tıbbi ve biyometri sistemlerinin bir çalışma alanıdır. Sensör tabanlı çeşitleri olduğu gibi kamera tabanlı uzaktan ölçüme dayanan çeşitleri de son zamanlardaki çalışmalarla ortaya çıkmaya başlamıştır. Kanın pompalanması ile insan cildinde kalp ritmini ortaya çıkarabilen bazı mikro seviyelerde değişiklikler meydana gelir. Kalp atış hızı, bir kişinin mevcut ruhsal ve biyolojik durumu hakkında değerli bilgiler sunabildiğinden, ayrıca bu yöntem harici bir cihaz gerektirmediğinden ve tamamen temassız olduğundan bu konu ilgi görmüş, geniş çapta incelenmiştir ve incelenmektedir.

Buradan yola çıkarak, fotopletismografi tekniğinin sadece kamera ile deneyin bir süre izlenmesi sonrasında kalp ritmini hesaplayabilmesi, aynı zamanda o kişinin canlılığını da ortaya koymaktadır. Yani doğru şartlar altında uygulandığında canlılık doğrulama uygulaması olarak da kullanılabilen bir tekniktir. Bu tez çalışmasında, yukarıda bahsedilen kameraların farklı iki etkinlik alanı bir araya getirilerek çokdisiplinli denilebilecek bir yapı oluşturulmuştur. Sahte yüzler ile yüz tanıma sistemlerini aldatmaya yönelik tehditler, yüzün canlılığının ortaya çıkarılması ile engellenmiştir. Önerilen yöntem, yüz tanıma sistemlerinde yüz tanıma işleminden önce deneyin yüzünde 5 saniyelik bir canlılık analizi yaparak bu tür saldırılarla sistemin istenmeyen şekilde aşılabildiğini önleyebilmektedir.

Bu tez kapsamında geliştirilen metodoloji, aşağıdaki adımları içermektedir:

- Yüz tanıma algoritması ile yüz bölgesinin bulunması sonrasında, yüz bölgesinde belli bir bölge analiz için seçilmiştir. Bu bölge seçilirken, sonucu iyileştirmek adına yeni bir yaklaşımla, yüzdeki belirli noktalar referans alınarak analiz bölgesi daha istikrarlı hale getirilmiştir.

- Analiz bölgesinin seçilmesinin ardından, yeni bir yaklaşım önerilerek bölgeden çıkarılan RPPG sinyal bilgisinin doğruluğu bazı filtrelemelerle güçlendirilmiştir.
- Çıkarılan ham RPPG sinyalleri, gürültülerden arındırılmak adına Gaussian filtresinden geçirilmiş ve yumuşatılmıştır. Böylelikle kalp ritmi bilgisini daha net ifade eden işlenmiş ve temizlenmiş RPPG sinyali elde edilmiştir.
- Son olarak, canlı yüz ve cansız saldırı yüz verilerini içeren, birçok kaynaktan elde edilmiş sinyal örnekleri eğitime tabi tutulmuş ve bir canlılık doğrulama sınıflandırıcısı elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde konu ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, geliştirilen yöntemin adımları detaylı olarak anlatılmıştır. Yüz tanıma sistemlerinde canlılık tespiti ile saldırıların önlenmesi amaçlı önerilen bir takım yöntemlere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, önerilen canlılık tespiti uygulaması gerçekleştirilmiş ve bulunan sonuçlar tartışılmıştır. Son olarak beşinci bölümde ise sonuç ve değerlendirmelere değinilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölüm temel olarak üç alt başlıkta incelenecektir. İlk bölümde, yüz tanıma sistemlerini aşmayı başaran fotoğraf ve video saldırılarına karşı alınmış önlemleri içeren çalışmalardan bahsedilecektir. İkinci bölümde RPPG yöntemi ile yüz görüntüsünden nabız ölçümü üzerine yapılmış çalışmalara değinilecektir. Üçüncü bölümde ise RPPG yöntemi ile canlılık tespiti üzerine yapılmış çalışmalar incelenecektir.

2.1 Fotoğraf ve Video Saldırılarını Önlemek Amacıyla Yapılmış Çalışmalar

Yüz tanıma sisteminin popüler bir biyometrik tanıma yöntemi olmasından bu yana her güvenlik içeren sistem gibi bu sisteme de çeşitli saldırı girişimleri olmuştur. Bunların başında yüz tanıma sistemine kişinin bir şekilde elde edilmiş yüz görüntülerinin dijital fotoğraf, kâğıda bastırılmış fotoğraf ya da video olarak gösterilmesi ile sistemin aşılması gelmektedir. Bu sahte görüntüleri gerçeği ile ayırt edemeyen sistem, bu giriş bilgilerini doğru kabul ederek istenmeyen kişilere taklit edilen kişi adına erişim verebilmektedir. Bu açık, günümüzde halen bazı ucuz yollu yüz tanıma sistemlerinde bulunmasına karşın, bazı yüksek güvenlik gerektiren durumlar için kullanılan yüz tanıma sistemlerinde belli yöntemlerle çözülmüştür. Bu yöntemler genel olarak kamera önündeki kişinin canlılığının saptanması ya da canlı görüntü ile cansız görüntüler arasındaki farklardan yola çıkarak cansız görüntülerin yakalanması üzerine geliştirilmiştir. Temel görüntü işleme teknikleri, kullanıcıdan talep edilen mimik ve hareketler ile canlılık tespiti ya da ek donanım kullanılarak sunulan bazı önemli çalışmalar aşağıda incelenmiştir.

Frischholz ve Werner (2003), yaptıkları çalışmada, kullanıcıdan yüz tanıma işlemi sürecinde kafalarını belli yönlere belli oranlarda çevirmelerini istemektedirler. Kullanıcının hareketleri poz çıkarma işlemi ile analiz edilip istenilen komutlara uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir. Sistem tarafından rastgele üretilen bu komutlarla kullanıcının hareketlerinin eşleşmesine bağlı olarak fotoğraf ya da video saldırılarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Saldırıcıyı hazırlayacak kişiler tarafından hangi komutun isteneceği bilinmediğinden ve bilinse bile her hareket üretilemeyeceğinden nispeten

soruna çözüm üretiyor olsa da kullanıcı ile etkileşim gerektirmektedir ve ekstra işlem süresi icap etmektedir. Bunun yanı sıra yeni nesil 3B maskeler için bir çözüm sağlamamaktadır.

Kollreider vd. (2009) ise çalışmasında, kullanıcıdan 0-9 arası rastgele seçilen rakamları telaffuz etmelerini istemektedir. Kullanıcı telaffuzları dudak hareketleri analiz edilerek algılanmakta ve istenen komutla eşleştirilmektedir. Bu çalışma da nispeten probleme çözüm üretse de ses analizi olmadığından, saldırganlar tarafından biyometrik bilgisi erişilmek istenen kişinin herhangi bir videosunda ilgili rakamların dudak hareketine benzeyen bölümler kesilerek sistemin kandırılabilmesi mümkün olduğundan çok da güvenli değildir ki bu çalışma da yüze tam oturan 3B maskelere çözüm üretmemektedir.

Chetty (2010) ise, benzer şekilde kullanıcıdan bazı söz öbeklerini telaffuz etmesini istemekte ve bunu dudak analizi ile görsel olarak yapmakla birlikte sesi de analiz etmektedir. Görsel ve ses bilgisinin komut ile eşleştirilmesiyle canlılık tespitinin yapılması amaçlanmıştır fakat kullanıcının ses bilgisinin de sistemde kayıtlı olması gerekmektedir ki kayıtlı bile olsa kişinin sesi de videodan elde edilen bilgilerle yapay ortamda üretilip istenen sesler yaratılabileceğinden tam bir güvenlik sunmamaktadır ve bu çalışma da 3B maske saldırılarına önlem oluşturamamaktadır.

Kant ve Sharma (2013) yaptıkları çalışma ile termal kamera kullanarak yüzü analiz etmekte ve deri dışında başka materyal ile oluşturulmuş bir yüz varsa bunu ayırt edebilmektedir. Ayrıca kullanıcıdan gülmek, alnını kaşlarını kaldırmak suretiyle kırıştırmak gibi eylemler isteyerek derinin elastikliğini kontrol etmektedirler. 3B maskeler dâhil birçok saldırıyı önleyebilecek bir yaklaşım olsa da harici ve ucuz olmayan bir donanım gerektirmesi ve deri elastikliği yaşa göre değişen bir faktör olmasından dolayı çok da kullanışlı bir yöntem değildir.

Bao vd. (2009), gerçek yüz görüntüleri ile video ve fotoğraf görüntülerini analiz etmiş ve ileri, geri, sağa sola gibi hareketler ile yüzün belli noktalarının birbirlerine bağlı olarak ne derece yer değişiminde bulunduğunu optik akış yöntemi ile saptamıştır. Bu bilgiyi kullanarak gerçek ve sahte yüzleri ayırt etmek üzerine bir sistem önermişlerdir.

Video ve fotoğraf saldırılarına etkin bir çözüm olabilecek olsa da işlem maliyeti ve ortamın aydınlanma faktörünün görüntü üzerinde izlenmek istenen noktaları seçilebilirliğini direk etkilemesinden dolayı uygulanabilirliği zayıf bir yöntemdir.

Pan vd. (2007), kullanıcıdan bir ya da iki gözünü kırpmasını istemiş ve görüntü işleme tekniğiyle gözün açılıp kapanması eylemini analiz ederek canlılık tespiti için bir öneride bulunmuşlardır. Video ve fotoğraf saldırıları için çözüm üretebilir olsa da 3B maskelerde kişinin gözleri ve ağı hariç diğer tüm yüz bölgelerinin maskeden oluşması, yani gözlerin hareket kabiliyetinin olması sebebiyle bu yöntem maskelerde uygulanamamaktadır.

Hadid vd. (2008) ve Chingovska vd. (2012), yaptıkları çalışmalarda, gerçek ve fotoğraf-video saldırı yüzlerinin yerel ikili desen (LBP) değerlerinin farklı olduğunu saptayıp bu farklılık üzerinden canlılık tespitinin yapılmasını öneren bir çalışma geliştirmişlerdir. LBP, görüntü işlemede çokça kullanılan basit ama etkin bir görüntü tanımlayıcısı olup bir pikselin etrafındaki piksellerin yoğunluklarına göre eşiklenmesi ile oluşan ikili örüntülerdir. Bu teknik ile gerçek yüz görüntüleri ile sahte yüz görüntüleri ayırt edilebilse de diğer çalışmalar gibi maskelerde uygulanabilir bir yöntem değildir.

Wen vd. (2015), çalışmalarında, canlı ve cansız saldırı yüz görüntülerini ayırt etmek için görüntü bozulma analizi yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem görüntüyü, ışığı yansıtma, blur seviyesi, görüntü momentleri ve görüntü çeşitliliği yönünden analiz eder. Bu analiz sonucunda canlı yüz görüntüleri ile cansız saldırı yüz görüntüleri farklı değerler ortaya çıkarmıştır ve bu değer öznelik olarak kullanılarak bir sınıflandırıcı eğitilmiştir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi maske saldırıları üzerinde denenmemiştir.

2.2 RPPG ile Nabız Ölçümü Üzerine Yapılmış Çalışmalar

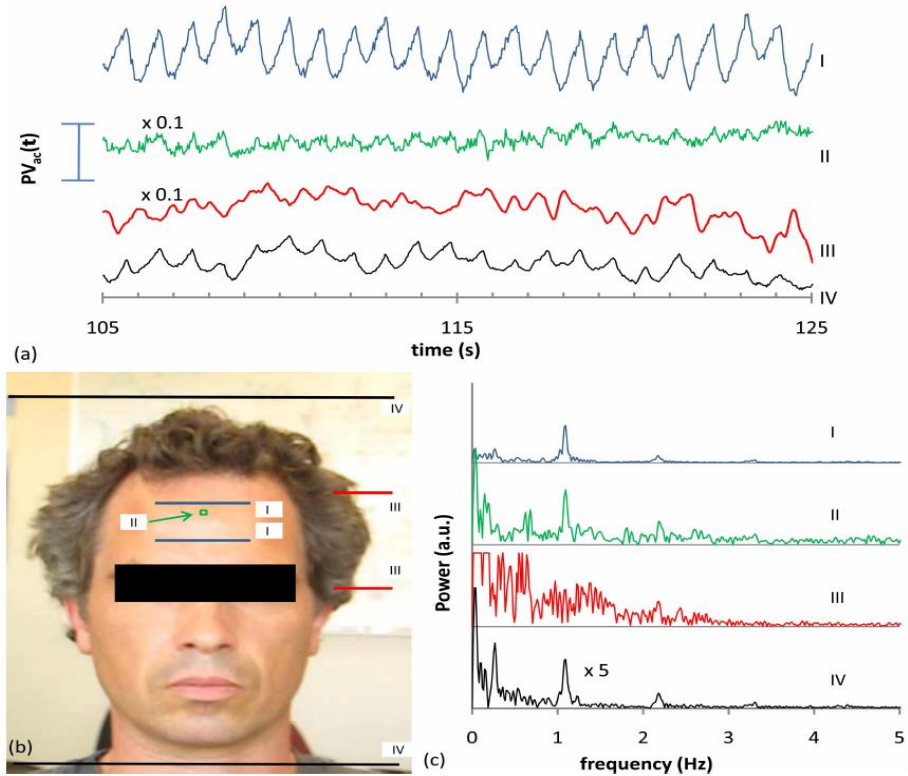
Kameralar ile insan gözünün algılayamayacağı küçüklükte detaylar bilgisayar ortamında ortaya çıkartılabilmektedir. Buna dair başlıca çalışmalardan biri de fotopleletismografi'dir. Fotopleletismografi, vücuttan yansıyan veya vücuttan geçen ışığın sensör aracılığıyla yakalanıp, vücutta kan dolaşımından kaynaklı deride oluşan renk değişiminin

sayısallaştırılması işlemidir. Metodoloji kısmında detaylı bahsedilecek olan fotopletismografi, temel olarak yüz bölgesinin bulunması, yüzde analiz için bir bölge seçilip her video karesi için ortalama renk yoğunluk bilgisinin ölçülmesi, bu bilgiler ile zaman bazında ham fotopletismografi sinyalinin oluşturulması, sinyal belli filtrelerden geçirilerek gürültülerden temizlenip yumuşatılması ve son olarak grafiğin yorumlanarak nabız bilgisinin çıkarılmasından oluşmaktadır. Literatürde temaslı ve temassız olmak üzere iki çeşit fotopletismografi yöntemi bulunmaktadır. Temaslı fotopletismografi, vücuda yerleştirilen bir cihaz vasıtasıyla, analiz edilen bölgeye ışık vermek ve kalp atımıyla beraber ışık geçirgenliği temel alınarak nabız bilgisinin çıkartılmasıdır. Günümüzde parmak ucuna yerleştirilerek nabız ölçümü yapılan temaslı fotopletismografi cihazlarına hastanelerde rastlanılmaktadır. Temassız fotopletismografi (RPPG) ise, temaslı versiyonu ile aynı amacı yerine getirmek için tasarlanmış kamera tabanlı çeşittir. Başka herhangi bir ek cihaz kullanmadan, kamera ile insan teninin belli bir bölgesinin analiz edilerek nabız bilgisinin çıkartılması işlemidir. Herhangi bir ek cihaz gerektirmemesi, tamamen temassız olması ve ulaşılması kolay olan standart kameralarla yapılabiliyor olması temassız fotopletismografiyi çekici hale getirmiştir ve bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların sonuçlarına bakıldığında, temaslı versiyonuna yaklaşık bir hata payıyla nabız bilgisinin ölçülebildiği görülmektedir.

RPPG yönteminde karşılaşılan temel sorun, kalbin kan pompalamasıyla birlikte deri yüzeyinde oluşan renk değişim bilgisinin çok küçük olmasından dolayı bu bilginin çıkartılması sürecinde sinyali bozan dış etkenlerdir. Bu yüzden bu denli hassas bir çalışma yaparken, diğer şartlar kolayca ölçüm işlemi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu faktörler temel olarak, kişinin hareket etmesi ile analiz edilen bölgenin tam olarak aynı kalamaması, ortam aydınlatmasının ve kişi yüzüne etkiyen ışığın değişken olması ve kamera kaynaklı gürültülerdir. Çalışmalarda temel olarak çok benzer yöntemler izlenmiş olsa da bu gibi sorunlara farklı çözümler üretilmeye çalışılmıştır.

Verkruyssen vd. (2008), ilk olarak sadece gün ışığından faydalanarak standart kameralarla RPPG yönteminin uygulanabilirliğini gösteren çalışmayı yayınlamışlardır. Test deneklerinin 640*480 ve 320*240 çözünürlüklerde renkli videolarını 15 ve 30

saniye başına görüntü karesi (FPS) seçenekleri ile kaydetmiştir. Elle yüzden dört farklı ilgi alanı (ROI) belirleyerek bu bölgelerin ortalamasını ham sinyal verisi olarak çıkarmış ve biriktirmiştir. Her bir bölgenin nasıl sonuçlar ortaya çıkardığı analiz edilmiş ve çok küçük ya da tüm yüzü içeren ROI'lerin kötü sonuçlar ürettiğini, alın bölgesinin ise en iyi sonucu üreten alan olduğu gösterilmiştir. Ham sinyale bant geçiren, 4. dereceden bir butterworth filtersi uygulamış, ardından elde edilen bu sinyale FFT uygulanarak kalp ritmine tekabül eden istenilen frekans aralığındaki bölümü ele alarak nabız bilgisi çıkarılmıştır. Kırmızı-Yeşil-Mavi renk tabanlı (RGB) görüntünün üç kanalında da bu nabız bilgisinin bulunduğunu saptamış fakat yeşil kanalın bu bilgiyi en çok içeren kanal olduğunu belirtmiştir. Sonuçlar ilk çalışma olması açısından etkileyici olsa da yüksek oranda başarılı değildir. Çalışmanın örnek görüntüsü şekil 2.1'de gösterilmiştir.

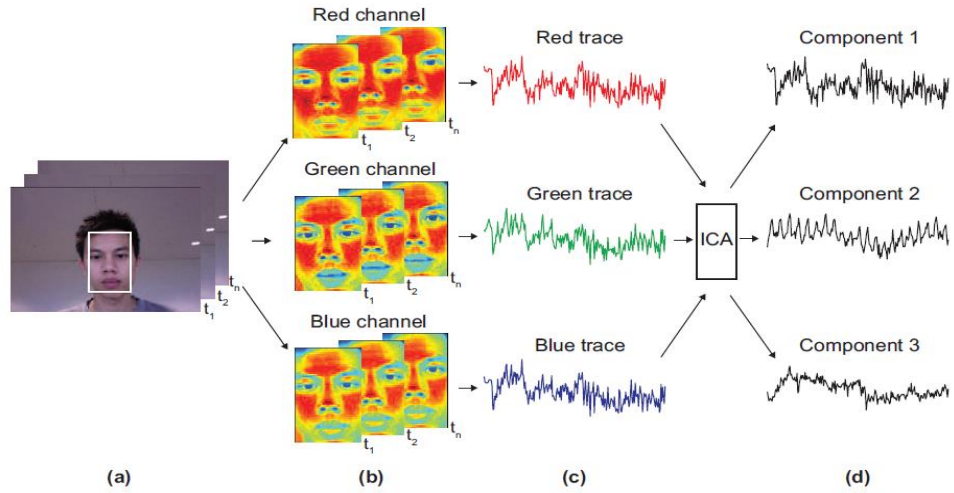


Şekil 2.1 Yüzden 4 bölge için çıkarılan RPPG sinyalleri (Verkruysse vd. 2008)

a. Her bir bölgenin yeşil kanalının ürettiği sinyaller, b. Bu sinyallere ait ROI'ler, c. Sinyallerin frekans tabanındaki gösterimleri

Bir makalede Poh vd. (2010), kalp ritmini ölçmenin otomatik bir yolunu sunmuştur. Farklı ten rengine sahip 12 deneğin (10 erkek, 2 kadın) videoları standart bir web kamerası kullanılarak 15 FPS ve 640x480 çözünürlükte kaydedilmiştir. Her video için Viola ve Jones (2001)'un gerçekleştirdiği Viola-Jones yüz algılama algoritması uygulanmış, bulunan yüzden bir ROI belirlenmiştir. Bu ROI'deki piksel değerlerinin ortalaması alınarak ham sinyaller bulunmuş sonrasında RGB görüntünün üç kanal sinyali bağımsız bileşen analizi (ICA) kullanılarak üç bağımsız sinyale ayrılmıştır. ICA'nın ikinci bileşeninin en güçlü pletismografik sinyali içerdiği görülmüş, bu veri üzerine FFT uygulanarak nabız frekansı bulunmuştur. Sonuç olarak daha kaliteli ve temiz görüntü veren kameralarla daha doğru sonuçlara erişilebileceğini bildirmişlerdir.

Yine aynı grup, kendi yöntemlerini geliştirmek amacıyla başka bir çalışma yapmışlardır. ICA ile bulunan üç bağımsız bileşenden, güç spektrumunda en yüksek değere sahip olanı analiz için seçilmiştir. Bu sinyal hareketli bir ortalama filtre ile düzeltilmiş ve filtrelenmiştir. Sonrasında, 256 Hz'lik bir örnekleme frekansında sinyalin enterpolasyonu için bir kübik spline fonksiyonu kullanılmıştır. Daha sonra sinyallerin tepe noktaları, kalp atış hızının doğrudan hesaplanabileceği bir forma dönüştürülmüştür. Çalışmanın örnek bir şeması şekil 2.2'de gösterilmiştir.



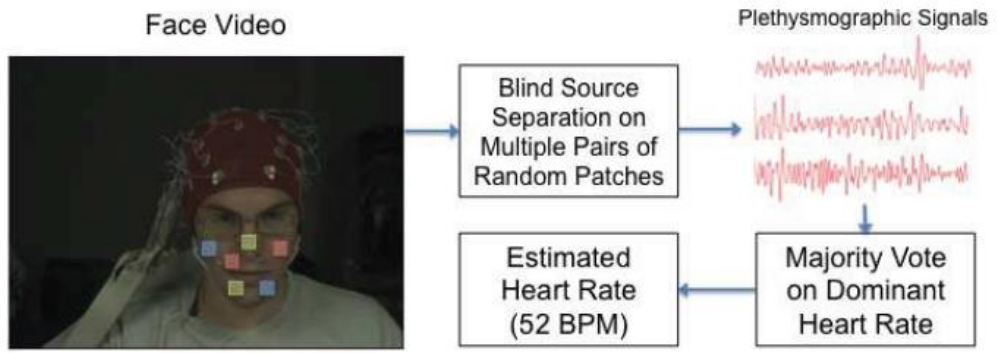
Şekil 2.2 Kalp ritmi çıkartma işlemi şeması (Poh vd. 2010)

a. Girdi verisi, b. RGB renk uzayı için her bir kanalda yüzün bölümlerinin kan dolaşımına karşı hassaslığının gösterimi, c. Her kanalın RPPG sinyali, d. ICA algoritması sonrası her kanalın çıkardığı RPPG sinyali

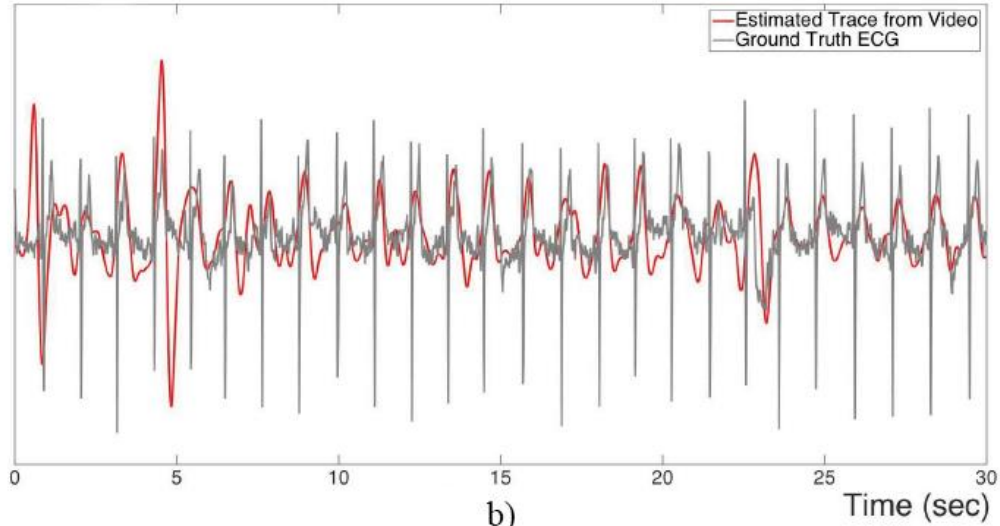
Li vd. (2014), çalışmalarında, RPPG sinyalini etkileyen deneğin hareketleri ve ortam aydınlanmasının değişimini telafi etmek doğrultusunda bir yöntem önermiştir. Önerilen çalışma 4 adımdan oluşmaktadır. İlk adım, diğer çalışmalarda olduğu gibi videodan yüz bulmaktır. Bu amaçla yüz tespitinde Viola-Jones yüz dedektörü ve Ayırt Edici Yanıt Haritası Uyumu (AEYHU) uygulanmıştır. Yüzden ROI bölgesi burun, ağız ve yanakları kapsayacak şekilde belirlenmiş ve bu ROI'nin ortalama yeşil değeri ham sinyal olarak hesaplanmıştır. İkinci adımda, ortam ve deneğin yüzündeki aydınlatma varyasyonlarının etkisi azaltılmıştır. Videonun arka planı bölümlere ayrılmış ve Uzaklaştırılmış Seviye Ayarlı Evrim (USAE) ile ortamın aydınlatma değişikliğinin etkisini dengelemek için bir aydınlanma değeri hesaplanmış ve RPPG sinyalinden çıkartılmıştır. Üçüncü adımda, deneğin hareketlerinin neden olduğu sinyal bozucu etkenler azaltılmıştır. Bu hareketlerden kaynaklı bozulan sinyaller, daha iyi bir ölçüm için tespit edilmiş ve oluşturulan sinyale eklenmemiştir. Dördüncü adımda, kalp ritmini (HR) ölçmek için bazı geçici filtreler uygulanmıştır. RPPG'nin temel sorunu olan sinyal bozucu dış etkenlere bu çalışma ile yeni bir bakış açısı ve çözüm sunulmuştur. Yine de arka plandan elde edilen ortam aydınlanma değişim bilgisi ile analiz edilen ROI üzerindeki aydınlanma her durumda aynı olmayacağından (örneğin, deneğin yüzüne, baktığı ekranın ışığının yansımaları) bu çalışma çok genel bir çözüm sunmamaktadır.

Lam ve Kuno (2015), çalışmalarında, ortam aydınlanma değişiminin ölçümü için görüntü arka plan bilgisi kullanımını gerektirmeden, gerçek dünya koşullarında video tabanlı bir HR ölçüm yöntemi önermişlerdir. Li'nin önerdiği arka plandan aydınlanma değişiminin çıkartımının yukarıda bahsedildiği gibi etkin ve genel bir çözüm olmadığını belirtmişlerdir. Arka planın aydınlanması yüze düşen aydınlanmadan farklı şekilde değişebildiği ve bu yöntemin her zaman aydınlatma değişikliğinin cilt üzerindeki etkilerini dengelemek için kullanılamayacağı vurgulanmıştır. Bunun diğer bir nedeni olarak da, arka planın ve derinin spektral yansımalarının farklı olmasından bahsedilmiştir. Li'nin önerdiği diğer bir konu olan hareket kaynaklı sinyal bozulmalarına sebep olacak bilgilerin atılması, video segmentlerindeki kardiyak aktivitenin atılacağı anlamına geldiğinden daha kısa videolar için böyle bir budama işleminin bir seçenek olmadığı belirtilmiştir. Yapılan çalışma esas olarak dört aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak yüzden rastgele birden fazla ROI seçilerek analiz edilir. İkinci

olarak bu yerel ROI'lerden HR sinyal çıkarımı doğrusal Kör Kaynak Ayırma (BSS) problemi ile ele alınır ve aralarındaki korelasyon bilgisi bulunmaya çalışılır. Üçüncü olarak HR sinyal çıkarmada kullanılmak amacıyla, seçilen ROI'lerden bu değişimi en iyi gösteren yerel ROI'yi belirleyecek basit bir algoritma uygulanmaktadır. Dördüncü ve son olarak da HR'yi doğru tahmin etmek için farklı yerel bölgelerden bağımsız HR tahminlerini kullanan bir oylama algoritması uygulanarak sonuç HR değerine ulaşmak şeklinde bir yöntem izlenmiştir. Li'nin yöntemine göre daha genelleyici bir çözüm olmuştur. Buna rağmen, yüzde birden fazla ROI için bu işlemin yapılması demek 1 yerine n kez algoritmanın çalışması, yani fazlaca hesaplama gerektiren bir yöntem olması demektir. Çalışma şekil 2.3'te gösterilmiştir.



a)



b)

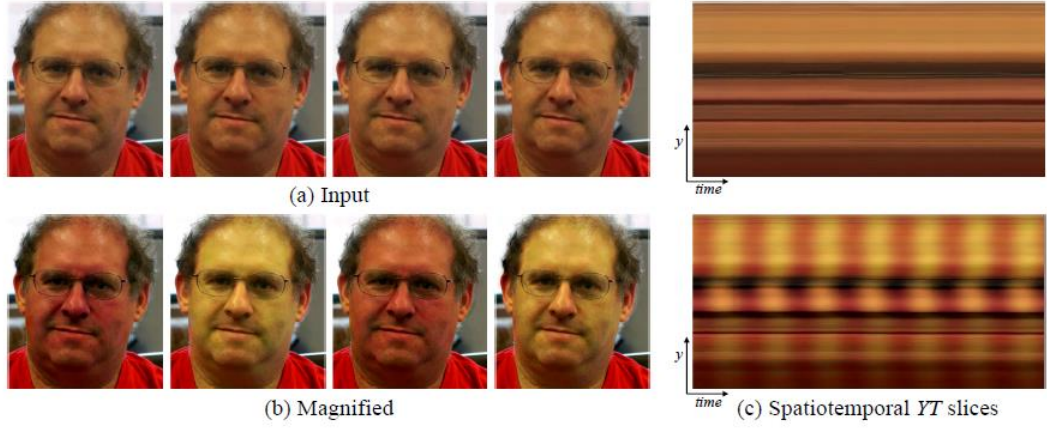
Şekil 2.3 Önerilen HR ölçüm sistemi (Lam ve Kuno 2015)

a. Yüzde seçilen ROI bölgeleri ve algoritmanın akış diyagramı, b. Bulunan RPPG sinyali ve ölçülen gerçek nabız atımları

Wu vd. (2012), bu konuda yaptıkları çalışma ile bu literatüre tamamen yeni bir bakış açısı getirmiş ve çalışma oldukça ilgi çekmiştir. Önerilen yöntem, yukarıda anlatılan yöntemlerden tamamen farklı olarak, ardışık video kareleri arasında hareket ya da renk yoğunluk farklarının yakalanıp bu farkların bazı algoritmalarla büyütmesi, yani başka bir deyişle abartılması ile hem işlenebilir hem görsel olarak gözlenebilir verilerin oluşmasını sağlamıştır. Sadece RPPG değil, küçük hareket değişimlerinin önemli bilgiler içerebileceği birçok alana uygulanabilir bir çalışma ortaya koymuşlardır.

Sistem ilk olarak giriş video dizisini farklı uzamsal frekans bantlarına ayırır ve tüm bantlara aynı geçici filtreyi uygular. Filtrelenmiş bu uzamsal bantlar daha sonra belirli bir çarpan değeri ile büyütülür, orijinal sinyale geri eklenir ve çıktı videosunu oluşturmak için birleştirilir. Bu işlemler sırasında her bir kareye niceleme ve gürültüyü azaltma amaçlı alçak geçiren filtre uygulanır. Bu yöntemde uzamsal bir ayrıştırmanın ardından ardışık video kareleri için zamansal filtreleme ve seçici frekans büyütme uygulanmaktadır. Sonrasında uzamsal ayırma havuzları ile kuantizasyon gürültüsü azaltılmıştır. Sonuç olarak renk ya da hareket değişimleri, istenen frekans aralıkları belirtilerek, küçük değişimler belli oranda yükseltilerek giriş video dizisi, bu değişiklikler daha bariz gözlemlenebilecek şekilde çıktı olarak verilir.

Bu yöntem ile daha önce bahsettiğimiz RPPG yöntemlerine benzer şekilde nabız ölçülebildiği gibi damarlarda kan pompalanmasıyla oluşan fiziksel hareketler gözlemlenerek de nabızın ölçülebildiği gözlemlenmiştir. Jeolojik analizlerde, deprem gibi sarsıntı gözlemlenmelerinde ve benzeri birçok alanda veri görselleşmesi ya da sayısal analiz işlemlerinde uygulanabilir bir yöntemdir. Dahası bu yöntemle, sadece görüntüden, ortamdaki sesin çıkartılabilmesi gibi çok farklı ve ilk sayılabilecek bir çalışma da yapılmıştır. Örneğin ortamdaki bir çiçeğin, ses dalgalarının çarpması ile oluşturduğu küçük devinimler kamera vasıtasıyla yakalanarak sesin şiddedi ve frekansı analiz edilip ortamdaki konuşmanın yapay olarak yaratılabildiği ekibin kendi çalışmaları arasında örnek olarak gösterilmiştir. Çalışmadan örnek bir görsel şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Önerilen yöntemin görsel çıktısı (Wu vd. 2012)

a. Giriş verisi, b. Renk değişimi yükseltilmiş video, c. Dikey bir dilimin zaman bazında renk değişiminin orijinalinin ve yükseltilmiş halinin grafiği

2.3 RPPG ile Canlılık Tespiti Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Nowara vd. (2017), çalışmalarında gerçek ve sahte yüz görüntülerinden RPPG sinyallerinin çıkartılması ve eğitmesi ile bir canlı-cansız yüz sınıflandırıcı elde etmiştir. Yüz bölgesinden analiz için alın ve yanaklar olmak üzere üç ROI belirlemişlerdir. Bu üç ROI'nin dışında ortam aydınlatmasını kontrol etmek ve dengelemek için yüz dışında herhangi bir alana bakan iki ROI daha seçmişlerdir. Her ROI için RPPG sinyali üretilmiş, daha sonra eğitime tabi tutulmuştur. Girdi verisini bu sınıflandırıcıdan geçirip canlı cansız ayırımı yapılmıştır. Fotoğraf ve video saldırı örnek verileri üzerinde test edilmiştir fakat 3B maskelerde test edilmemiştir.

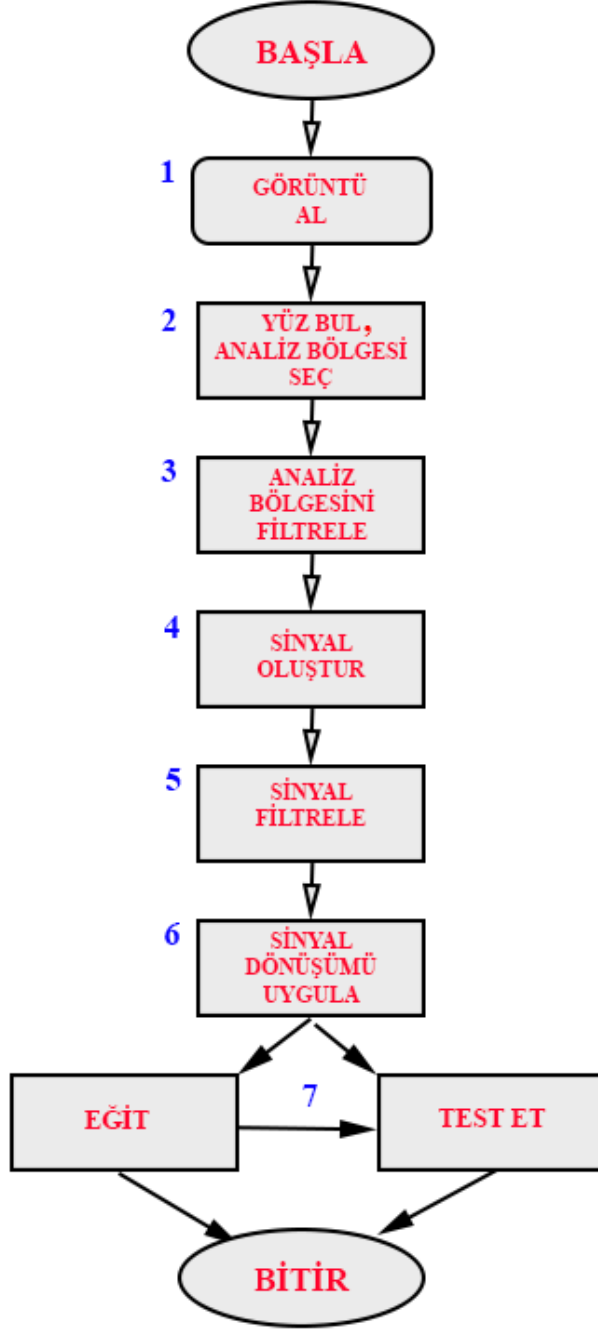
Kang vd. (2017), çalışmalarında RPPG sinyal çıkarımında renk değişim tabanlı Eulerian video magnification methodunu kullanmışlardır. 9 saniye ve 25 FPS'lik videoların analizlerinden elde edilen renk değişimleri 100 – 150 kat yükseltilerek daha belirginleştirilmiştir. Sonrasında elde edilen sinyal FFT'ye tabi tutulup çıkan sonuç rastgele orman sınıflandırıcısı (RFC) için eğitilmiştir. Bu sınıflandırıcı kullanılarak canlı cansız ayırımı yapılmıştır. Bu çalışmada da 3B maskeler için bir test yapılmamıştır.

2.4 Bölüm Değerlendirmesi

Yüz tanıma sisteminin son yıllarda birçok alanda aktif olarak kullanılmasıyla birlikte her güvenlik sistemine olduğu gibi bu sisteme karşı da çeşitli kimlik hırsızlığı saldırıları geliştirilmiştir. Bunların bir kısmı temel yöntemlerle çözülebilmüş olmasına rağmen bir kısmı halen güvenlik açığı içermektedir. Kamera ile yüzün analizinin yapılmasıyla kalp ritminin ölçülebildiği bahsedilen çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Yüzden kamera ile herhangi bir ek donanım gerektirmeden bu işlemin yüksek başarıyla yapılabiliyor olması aynı zamanda canlılık tespitinin de yapılabileceği anlamına gelmektedir. Bu doğrultuda sahte cansız görüntüler ile yüz tanıma sistemlerine yapılan saldırıların önlenebileceği düşünülüp çeşitli yöntemler geliştirilmiştir ve halen daha yüksek başarılı önlemler için çalışmalar yürütülmektedir. Çalışmalarda bazı saldırılara önlem alınmış fakat 3B maskeler yeni bir kavram olduğundan bu sorunu hedef alan çalışmalara rastlanmamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yüz tanıma sistemlerinin kimlik hırsızlığı ile aşılması, bu sistemler ile sağlanan güvenlik uygulamaları için büyük risk taşımaktadır. Sisteme biyometrik bilgisiyle erişilmek istenen kişinin ele geçirilmiş fotoğraf, video ve 3B maskeleri ile sistemlerin kandırılabilirdiği bilinmektedir. Fotoğraf ve video saldırılarına karşı bazı çözümler üretilmiş olsa da 3B gerçekçi maskelerle yapılan saldırılara bu yöntemlerle önlem almak konusunda çok başarılı bir yöntem sunulamamıştır. Bunun nedeni maskelerin kişiye özgün yüz özniteliklerini tamamen barındırması ve yüze giyildikten sonra her şekilde canlı kişinin taklit edilebilmesidir. Bu sorunun çözümü ise sistemin gördüğü görüntüdeki kişinin canlılığının tespit edilmesidir. İlgili sorun için termal kameralar gibi harici donanım destekli canlılık tespiti yapabilecek öneriler sunulmuş fakat maliyetli ve hali hazırda var olan yüz tanıma sistemlerine entegrasyonu zor olduğu için etkin bir çözüm üretilmemiştir. Bu tez çalışmasında önerilen metodolojiyle, kişinin yüz verisinin analiz edilip nabzının tespit edilmesiyle kişinin canlı olduğu teyit edilerek bu sorunun çözümü için bir yöntem ortaya koyulmuştur. Fotoğraf, maske gibi görüntülerde nabız bulunamayacağından ve yapılan işlem hassas ölçüm gerektirdiğinden kameraya gösterilen video görüntüsünden nabız bilgisi çıkarılamayacağından geliştirilen bu yöntem bu soruna temel bir çözüm getirmektedir. Bu çalışmada RPPG ile yüz tanıma sisteminin entegre çalışmasıyla canlı ve cansız yüz görüntülerini ayırt eden bir sistem geliştirilecektir.



Şekil 3.1 Önerilen metodolojinin akış diyagramı

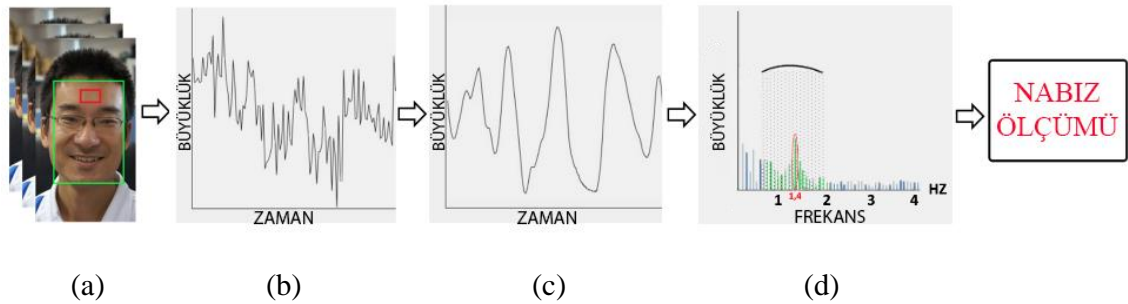
Geliştirilen metodolojinin gerçekleştirdiği işlemleri kapsayan akış diyagramı şekil 3.1’de verilmiştir. Metodoloji ilk olarak video ya da canlı kameradan görüntü

beslemesiyle başlamaktadır (Blok 1). İkinci adımda, ilk adımda alınan görüntüler üzerinde yüz bölgesi saptanıp analiz edilerek ROI bölgesi bulunmaktadı (Blok 2). Üçüncü adımda bu bölge analiz edilerek istenmeyen kısımlar filtrelenerek elenmektedir (Blok 3). Dördüncü aşamada tüm video karelerinden bir sayısal değer hesaplanıp oluşturulacak sinyale zaman bazında eklenmektedir (Blok 4). Beşinci aşamada, elde edilen ham sinyal bir takım sinyal işleme filtrelerinden geçirilerek temizlenmektedir (Blok 5). Altıncı aşamada sinyal, eğitilmek için frekans düzlemine geçirilmektedir (Blok 6). Yedinci ve son aşamada işlem eğitim ise bu sinyaller eğitilerek bir sınıflandırıcı elde edilmektedir (Blok 7). İşlem test ise, eğitimle elde edilen sınıflandırıcı kullanılarak girdi verisinin canlı ya da cansız olduğu tespit edilmekte ve işlem sonlandırılmaktadır.

Bu bölümün devamında RPPG sinyalinin çıkartılması ve eğitilmesi işlemleri detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1 RPPG Sinyalinin Çıkartılması

İki aşamadan oluşan metodolojinin ilk aşaması olan RPPG sistemlerinin çalışma prensibi basit olarak şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 RPPG çalışmalarının genel bir özeti

a. Ardışık görüntü karelerinde yüz ve ROI bulma, b. Ham RPPG sinyalinin çıkartılması, c. İşlenmiş RPPG sinyali, d. Sinyalin frekans düzlemine geçirilmesi

Sistem ilk olarak bir video ya da canlı kameradan aldığı ardışık görüntüleri sırasıyla analiz eder ve tüm analiz sonucunda elde edilen sinyal analiz edilerek kalp ritmi hesaplanır. İlk aşamada, alınan her görüntü çerçevesinde yüz tanıma algoritması çalıştırılır ve yüz bölgesi bulunur. Yüz bölgesi elde edildikten sonra yüzde kılcal damarların çoğunlukta olduğu, kan dolaşımı ile renk değişiminin en net gözlemlenebildiği bir ROI belirlenir (Şekil 3.2.a). Daha sonra seçilen renk uzayına göre uygun kanal seçilerek alan içerisinde kalan piksellerin ortalama değeri hesaplanır ve bu bilgi RPPG sinyali oluşturmak üzere saklanır (Şekil 3.2.b). Yeterli veri toplandıktan sonra oluşan bu ham sinyal, sinyalin devamlılığını bozan, gürültü diye adlandırılacak değerlerden arındırılmak üzere belli sinyal işleme filtrelerinden geçirilir. Temizlenmiş ve yumuşatılmış sinyal böylelikle elde edilmiş olur (Şekil 3.2.c). Bu işlenmiş sinyal son olarak FFT gibi bir frekans düzleminde çalışan dönüşüm algoritmasına sokulur ve istenen frekans aralığında kalan bu bölgedeki tepe noktasının nabıza ait olduğu kabul edilir (Şekil 3.2.d). Bu nokta referans alınarak nabız hesaplanır.

Bu bölüm, yeni yaklaşımların önerildiği üç ana başlık altında incelenecektir. Bu başlıklar RPPG sinyalinin çıkartılması adımlarını içeren, sırasıyla yüz bulma & ROI belirleme, ROI filtreleme ve sinyal filtreleme aşamalarından oluşmaktadır.

3.1.1 Yüz bulma ve ROI belirleme

RPPG işlemlerinin ilk aşaması ve doğruluğunu önemli ölçüde etkileyen kısmı görüntüde yüz bölgesinin tespit edilmesi ve yüzün daha önceden karar verilmiş analiz edilecek bölgesinin seçilmesidir. Analiz bölgesinin çok hassas bilgiler ihtiva etmesi ve sonuca doğrudan etki ediyor olması bu bölümü önemli kılmaktadır. Bu yüzden, bu bölümde daha önceki çalışmalarda ele alınmamış, sinyal kalitesini artıracak bir yaklaşım önerilmiştir.

Yüz bulma algoritması için Dlib kütüphanesinin yüz bulma dedektörü tercih edilmiştir (Davis 2009). Yüz bölgesinin bulunması ve istenilen analiz bölgesinin belirlenmesi aşaması sinyalin kalitesi ve devamlılığı için ciddi önem arz ediyor olmasından dolayı, yüz bulma başarısı gayet yüksek olan bu kütüphane tercih edilmiştir. Sharma vd. (2016)

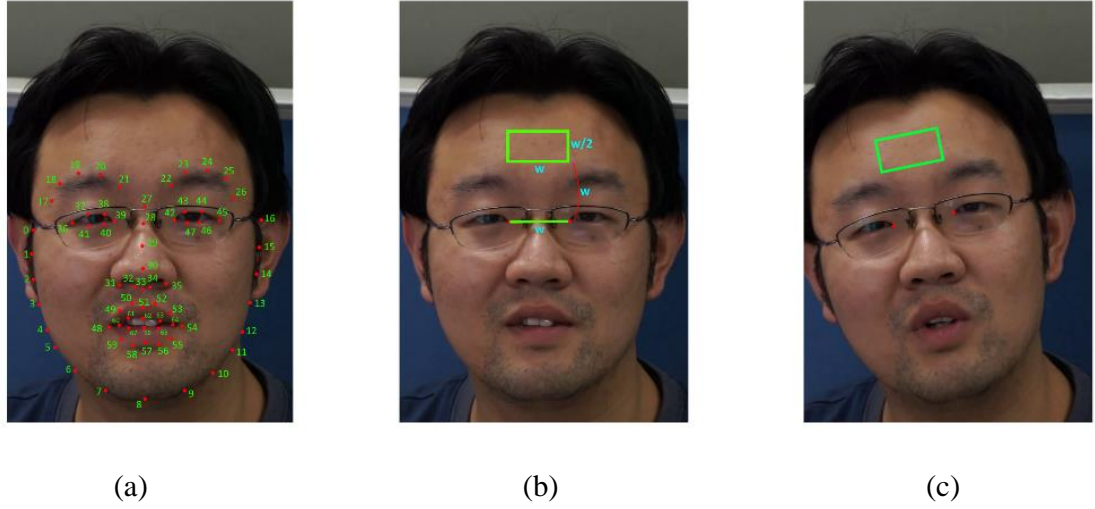
ekibinin çalışması, Dlib kütüphanesinin CNN tabanlı yüz bulma algoritmasını diğer algotirmalarla farklı ortam koşullarında karşılaştırmış ve %96 yüz bulma başarısı ile diğerlerinin içinde en iyi sonucu veren algoritma olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada analiz edilen görüntüler kontrollü ortamlarda yapıldığından, yüzün tespiti için gerekli ölçek sağlandığından ve yüz bölgesi net şekilde seçilebildiğinden yüz kaçırma durumu bu algoritmayla neredeyse hiç rastlanmamıştır, yani %99'un üzerinde başarı gözlemlenmiştir. Bu başarının yöntem için önemi ise, her video görüntüsü için yapılan analiz sonrasında elde edilen sinyal eğer yüzün bulunmadığı bir görüntü olması durumunda boş kalacaktır, bu durum da sinyalin süreklilik bilgisini etkileyeceğinden sonuca olumsuz yansiyabilecektir. Bu kütüphanenin yüz bulma algoritması ile bu soruna maksimum önlem alınmıştır.

Görüntüde yüz bölgesi bulunduktan sonra yüzün belli bir alanının analiz edilmesi gerekmektedir. İnsan teninde kılcal damarlarla kaplı alanların kalbin kan pompalamasıyla birlikte renk değiştirdiği çeşitli çalışmalarla ispatlanmıştır (Verkruyssen vd. 2008). Bu değişim çıplak gözle görülemezken, kameralar vasıtasıyla analiz edildiğinde ortaya çıkarılabilmektedir. Yüz bölgesinde ise bazı bölümler diğerlerine göre bu bilgiyi daha çok ihtiva etmektedir. Mevcut araştırmalar, alın ve yanak bölgelerinin kanın pompalanması sonucu meydana gelen renk değişimlerine karşı en hassas bölgeler olduğunu göstermiştir (Lempe vd. 2013)).

Yanak bölgeleri kişinin hareketleriyle kolayca gölgelenebileceği ve gözlük gibi aksesuarlar tarafından kısmen üstü kapatılabileceği için analiz bölgesi olarak tercih edilmemiştir. Ayrıca kadınlarda yanaklara makyaj uygulanabildiğinden bu alanlarda makyaj malzemeleri tarafından derinin gözlenmesi engellenebilmektedir. Analiz bölgesine ten dışında herhangi bir etkenin dâhil olması sinyali bozabilmektedir ya da doğruluğunu azaltabilmektedir. Alın bölgesi ise insanda genel olarak açıktır ve üzeri yanak bölgeleri gibi herhangi başka bir etken tarafından kapatılması daha düşük ihtimallidir. Gözlemlenebilirliği göz önüne alındığında alın bölgesinin analizinin daha doğru olacağı düşünülmüş ve bu çalışmada ROI olarak alın bölgesi seçilmiştir.

Alın bölgesinin ya da analiz edilmek istenen bölgenin seçimi mevcut çalışmalarda genelde kabaca yöntemlerle belirlenmiştir. Yüz bulma işlemi sonrası elde edilen koordinatlardan, gözlemler sonucu ROI oran olarak nereye tekabül ediyorsa bu bölge basit hesaplamalar ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Örneğin Poh vd. (2010) çalışmasında yüz bölgesini bulduktan sonra alın bölgesine erişmek için yüz koordinatlarını referans alarak yüz bölgesi içerisinde bir iç bölge hesaplamışlardır. Bu durum yüzün hareketleri ve yüz bulma algoritmasının sabit sayılabilecek görüntülerde bile her zaman aynı alanı göstermeyeceği için ROI, her görüntü karesinde ciddi anlamda yer değiştirmektedir. Bu bazı çalışmalarda göz ardı edilse de, yapılan işlem çok hassas bilgileri içerdiğinden ve çok küçük değişimler bile sonucu etkilediğinden daha hassas ele alınması gerekmektedir. Çünkü alın bölgesi seçimi yapılırken meydana gelebilecek bu küçük kaymalar, önceki görüntünün ROI'sinde olmayan ben, kaşın bir bölümü gibi bazı alanlar ROI içine girebilir. Bu da o görüntü karesi için üretilecek olan sinyal bilgisini kısmen de olsa negatif yönde etkileyebilmektedir.

ROI'nin neden daha sabit olması ve elde edilmesi aşamasının neden daha hassas ele alınması gerektiği ileri bölümlerde örneklerle ele alınacaktır. ROI'nin yüz bölgesinden yola çıkılarak basit hesaplamalarla elde edilmesi yerine daha hassas belirleme yapmak adına yüzdeki belli noktalar referans alınabilir. Birçok amaç için kullanılmak üzere yüzdeki belli noktaları çıkartan algoritmalar önerilmiştir. Bunlardan en geçerli olanı günümüzde yüz tanıma uygulamalarında aktif şekilde kullanılan yüz işaret yerleridir (FL) (Kazemi ve Josephine 2014). FL noktaları yüzde burun, kaşlar, gözler ve dudak gibi önemli bölgeleri işaret etmek adına geliştirilmiştir. şekil 3.3'te görüldüğü üzere yüzde 68 tane FL bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Yüzdeki FL'ler yardımıyla ROI'nin belirlenmesi

a. Yüzde belirlenen 68 FL'nin yerleri, b. 39. ve 42. FL'ler yardımıyla ROI'nin yerleştirilmesi, c. Yüzde açı olması durumunda ROI'yi daha sabit hale getirecek şekilde ROI'nin belirlenmesi

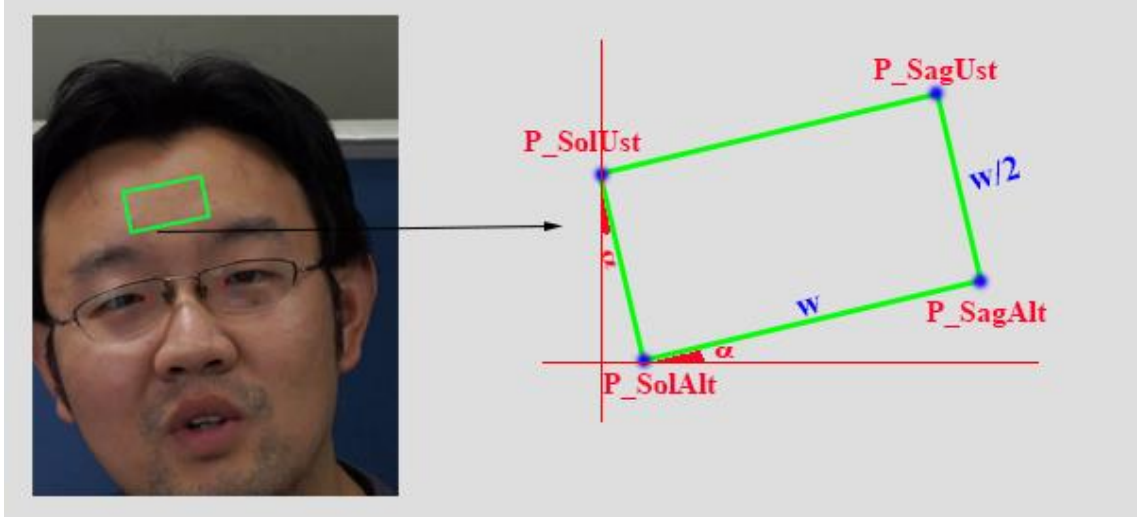
Bu FL noktaları mimik tanıma, duygu durum tespiti, cinsiyet ve yaş tespiti gibi uygulamalar tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ROI'nin daha sabit ve her görüntü karesinde olabildiğince aynı bölgenin belirlenmesi için FL'lerden faydalanılmıştır. Alın bölgesine erişebilmek için şekil 3.3.a'daki FL'lerden 39 ve 42 numaralı FL'ler tercih edilmiştir. 39 numaralı FL sol gözün göz pınarı denem en sağ noktası, 42 numaralı FL ise sağ gözün en sol noktasını belirtmektedir (fotoğrafa göre). Bu noktalar, alın bölgesine yakınlığı ve mimik ya da yüzün herhangi bir hareketi ile yer değiştirmediklerinden, yani daha sabit olduğundan tercih edilmiştir.

Şekil 3.3.b'de gösterildiği gibi 39. ve 42. noktaların koordinatları FL noktalarının çıkartılması ile elde edildikten sonra, ROI'nin genişliği bu iki nokta arasındaki uzaklık olmaktadır. ROI'nin yüksekliği ise, genişliğinin yarısı kadar seçilmiştir. Testlerle yapılan incelemeler sonucunda ROI'nin bu iki nokta arası uzaklığın 1.5 katı kadar yukarıya taşınması istenilen alın bölgesini verdiği gözlemlenmiştir. Kaşların indirilip kaldırılması ile de denenen bu ROI seçimi, kaşların ve saç bölgesinin alan içerisine girmediği de gözlemlenerek en ideal alan seçimi olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Basit haliyle Denklem (3.1)'de ROI dörtgeninin hesaplaması gösterilmiştir. P_{39} ve P_{42} sırasıyla sol ve sağ göz pınarı noktaları olmak üzere, ROI'nin genişliği ve yüksekliği

sırasıyla w_{roi} ve h_{roi} olarak gösterilmiştir. P_{SolUst} , ROI'nin sol üst noktası, P_{SolAlt} , sol alt noktası, $P_{SağAlt}$, sağ alt noktası ve $P_{SağUst}$, sağ üst noktasını simgelemektedir.

$$\begin{aligned}
P_{39} &= (x_{39}, y_{39}) & P_{42} &= (x_{42}, y_{42}) \\
w_{roi} &= x_{42} - x_{39} \\
h_{roi} &= \frac{w_{roi}}{2} \\
P_{SolUst} &= \left(x_{39}, y_{39} - \left(\frac{3}{2} * w_{roi} \right) \right) & (3.1) \\
P_{SolAlt} &= (x_{39}, y_{39} - w_{roi}) \\
P_{SağAlt} &= (x_{42}, y_{42} - w_{roi}) \\
P_{SağUst} &= \left(x_{42}, y_{42} - \left(\frac{3}{2} * w_{roi} \right) \right)
\end{aligned}$$

Bu hesaplamalar P_{39} ve P_{42} noktalarının aynı x düzleminde olması durumundaki hesaplamalardır fakat gerçekte bu iki nokta arasında x düzlemine göre bir açı bulunabilmektedir (Şekil 3.3.c). Gösterimin anlaşılabilir olması için Denklem (3.1) oluşturulmuş olsa da açının var olma ihtimaline karşı daha doğru bir ROI belirleyebilmek adına ROI Denklem (3.2)'ye göre, açıdan kaynaklanan yer değiştirmeler trigonometriden faydalanılarak bulunmaktadır. Denklem (3.2)'de, P_{39} ve P_{42} noktaları temel alınarak, bu noktalar arasında x düzlemine göre oluşan açı hesaba katılmış ve Denklem (3.1) yeniden düzenlenmiştir (Şekil 3.4). Buna göre w_{roi} , P_{39} ve P_{42} noktaları arasındaki öklid uzaklık olacaktır ve h_{roi} yine w_{roi} 'nin yarısıdır. Basit trigonometri yardımıyla açının $\sin \alpha$ ve $\cos \alpha$ değerleri kullanılarak P_{SolUst} , P_{SolAlt} , $P_{SağAlt}$ ve $P_{SağUst}$ noktalarının koordinatları hesaplanmaktadır.



Şekil 3.4 ROI'de x düzlemine göre açı olması durumunda ROI'nin köşe noktalarının açı bilgisi ile hesaplanması

$$\begin{aligned}
 w_{roi} &= \sqrt{(x_{42} - x_{39})^2 + (y_{42} - y_{39})^2} \\
 \sin \alpha &= (y_{39} - y_{42}) / w_{roi} \\
 \cos \alpha &= (x_{42} - x_{39}) / w_{roi} \\
 P_{SolUst} &= \left(x_{39} - \left(\frac{3}{2} * w_{roi} \right) * \sin \alpha, y_{39} - \left(\frac{3}{2} * w_{roi} \right) * \cos \alpha \right) \\
 P_{SolAlt} &= (x_{39} - w_{roi} * \sin \alpha, y_{39} - w_{roi} * \cos \alpha) \\
 P_{SağAlt} &= (x_{42} - w_{roi} * \sin \alpha, y_{42} - w_{roi} * \cos \alpha) \\
 P_{SağUst} &= \left(x_{42} - \left(\frac{3}{2} * w_{roi} \right) * \sin \alpha, y_{42} - \left(\frac{3}{2} * w_{roi} \right) * \cos \alpha \right)
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Böylelikle yüzdeki göze ait FL noktalarından yola çıkılarak yüzde her görüntü karesi arasında kayma miktarını minimuma indirecek daha sabit bir ROI seçimi önerilmiştir. Sonraki bölümde bu ROI bölgesinin bazı istenmeyen etkenlerden filtrelenmesi anlatılacaktır.

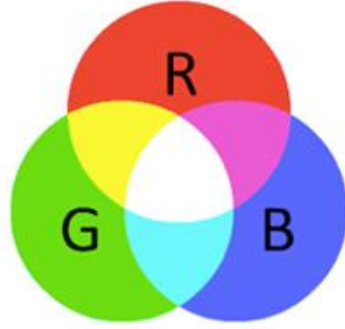
3.1.2 ROI filtreleme

Konu hakkında yapılan çalışmaların çoğunda, RPPG sinyalinin hesaplanması aşamasında ROI bölgesi içerisinde kalan tüm piksellerin ortalaması alınarak bir değer

çıkarılmıştır (Li vd. 2014). Fakat deneyler sonucunda gözlemlenmiştir ki bazen istenmeyen piksel ya da piksel öbeklerinin de ortalamaya girmesi sinyalin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. ROI içerisinde istenmeyen bu bölgeler genel itibariyle üç sebepten oluşmaktadır: Deneğin hareketi ile ROI bölgesinin kayması ve farklı yoğunluk değeri taşıyan bölgelerin de ortalamaya girmesi, kamera temelli sensör gürültüleri ya da görüntüde oluşan anlık gürültüler ve video sıkıştırma algoritmalarının sebep olduğu bloklanma efektleri. Bu bölümde bu gibi istenmeyen etkenlerin ortalama RPPG sinyal değeri hesaplamasına girmeden filtrelenmesi için bir yaklaşım önerilmiştir.

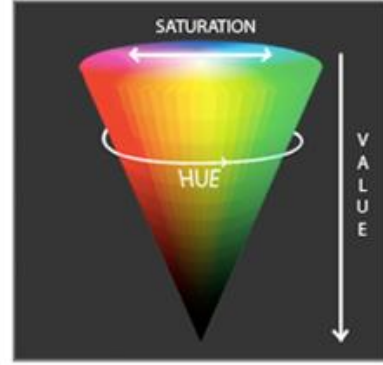
Bu işleme geçmeden önce karar verilmesi gereken bir nokta ise görüntünün hangi kanalının ya da kanallarının kullanılacağına seçilmesidir. Görüntü işleme literatüründe, farklı amaçlar için farklı renk uzayları geliştirilmiştir. Bu renk uzaylarından en çok kullanılanı olan RGB, renkli görüntünün ana renkleri olan kırmızı, yeşil ve mavi tonlarının karıştırılması ile ifade edilmesini sağlayanıdır (Şekil 3.5.a). Her pikselin yeşil, kırmızı ve mavi değerleri vardır ve bu üç değer tek bir rengi ifade etmektedir. Dijital ekranlar gibi görüntüyü oluşturmak ve insan görseline sunmak için bu renk kanalı kullanılmaktadır. Renk uzaylarından bir diğeri ise HSV'dir. HSV sırasıyla H renk tonu, S doygunluk ve V parlaklık değerlerinin birleşmesiyle oluşmaktadır (Şekil 3.5.b). Renk seviyesinde filtreleme gibi işlemlerde H kanalının bu bilgiyi sağlamasından ötürü görüntü işleme alanında segmentasyon için başvurulan bir renk uzayıdır.

RGB RENK UZAYI



(a)

HSV RENK UZAYI



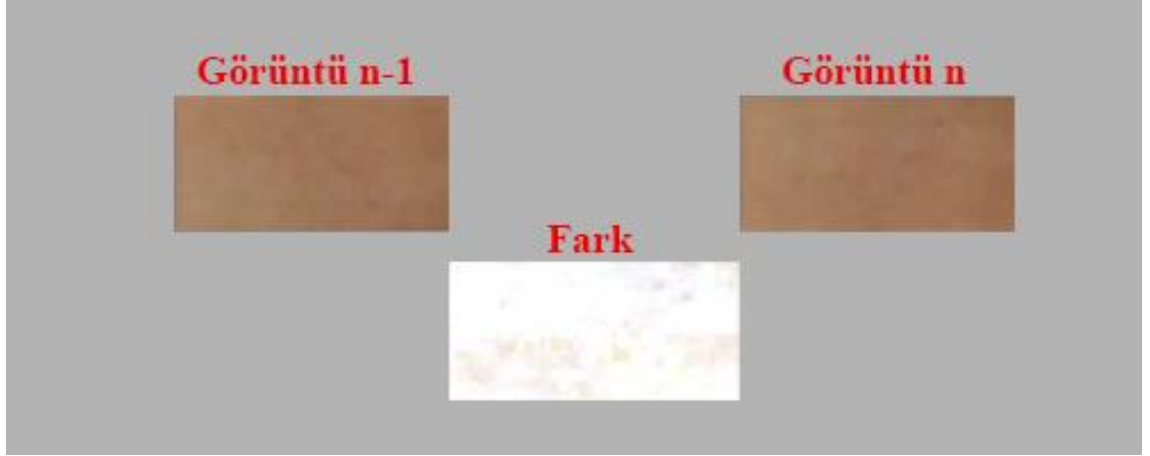
(b)

Şekil 3.5 RGB ve HSV renk uzayları

a. RGB renk uzayı, b. HSV renk uzayı

Çalışmalar göstermiştir ki RGB renk uzayının G, yani yeşil kanalı kandaki hemoglobin gibi maddelerin ışığı en çok yeşil ışık altında yansıttığı bilindiğinden (Zijlstra v.d 1991) kan dolaşımı sebebiyle renk değişimlerini en iyi yansıtan kanal yeşil kanaldır (Verkruysse vd. 2008). Yine HSV renk uzayının H kanalı da sadece renk bilgisini içerdiğinden kullanılabilir; fakat G kanalına göre değişim aralığı küçük olduğundan G kanalı, H kanalından daha etkin bilgiler içermektedir. Bu çalışmada iki kanal da ayrı ayrı incelenmiş ve kullanılmıştır.

Şekil 3.6'da ardışık iki ROI görüntüsü ve bu iki görüntü arasındaki fark gösterilmiştir. İki görüntü arasında kan akışından dolayı fark beklense de oluşan bütün farklar bu sebepten kaynaklanmamaktadır. Yukarıda belirtilen sinyal bozucu durumlardan herhangi biri ya da birkaçı aşağıdaki gibi bazı bölgelerde, diğer bölgelere göre daha büyük bir değişim göstermektedir ve bu değişimlerin gürültü kaynaklı olması muhtemeldir. Bir alın görüntüsü, piksel renk yoğunluğu olarak homojen ve eşit olarak dağıldığı göz önünde bulundurulursa, ROI alanı içerisinde istenmeyen bir miktar bölgenin çıkartılması üretilen sinyali olumsuz etkilemeyecektir çünkü doğru farzedilen piksellerden yeteri kadar vardır ve bu değerlerin ortalaması alınmaktadır. Aksine istenmeyen bölgelerin çıkartılması sinyali gürültülerden temizleyebileceğinden daha iyi bir sinyal elde edilmesine sebep olacaktır.



Şekil 3.6 İki ardışık görüntü arasındaki fark

Bu nedenle, iki görüntünün farkı belli bir eşikleme işleminden geçirilerek, görüntünün yukarıda bahsedilen gürültü etkenlerinden arındırılması mümkündür. Bu bağlamda, iki görüntü arasında genele uymayan şekilde değişiklik gösteren piksel ve piksel öbekleri bir eşikleme yöntemi uygulanarak arındırılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, eşikleme ile doğru bilgiler içeren piksellerin de elenmemesidir ve bunun kontrolü de yapılmaktadır.

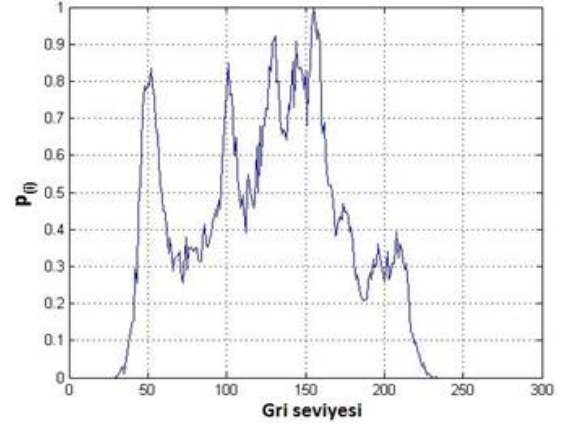
Eşikleme methodlarından biri olan Otsu eşikleme (Otsu 1979), buradaki soruna çözüm üretebilecek bir algoritmadır. Otsu temel olarak, bir görüntüyü kendi içinde analiz ederek, görüntünün histogramını çıkarır ve görüntüyü ilgilenilen alan ve ilgilenilmeyen alan olarak ikiye böler.

Görüntü işlemede histogram, bir görüntünün bir kanalının, o kanaldaki her parlaklık düzeyindeki piksel tekrarlarının sayısını belirten bir grafiktir. Renk uzayının bir kanalı ya da gri seviye bir görüntü temel alınacak olursa, 8 bitlik gri düzeyde bir görüntüdeki her piksel 0-255 arasında olabilir. Her yoğunluk değeri sayısı hesaplanarak o yoğunluk değerinden görüntüde kaç tane olduğu grafiğe çevirilir. i . seviye yoğunluğun olasılığı ise Denklem (3.3)'deki gibi tanımlanabilir;

$$p_i = h_i / (M \times N) \quad (3.3)$$

Burada M ve N görüntü matrisinin boyutlarını belirtir. h_i ise histogramda i seviyesindeki piksel sayısını gösterir. Burada p_i , i . yoğunluk değerinin histogramdaki olasılık değeridir.

Şekil 3.7’de ise bir gri görüntü ve bu görüntünün histogramı gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Görüntü histogram örneği

Otsu, görüntü histogramını analiz ederek görüntüyü iki parçaya bölmeyi amaçlar. Histogramın tamamını gezerek her aşamada sol tarafın ve sağ tarafın varyasyonunu hesaplar ve bu varyasyonları toplar. İşlem sonunda bu toplamın maksimum olduğu noktayı eşik değeri olarak kabul eder ve sonrasında bu değeri sınır temel alarak görüntüyü iki parçaya böler. Denklem (3.4)’de Otsu’nun metodolojisi gösterilmiştir.

$$J(t_1) = \sigma_0 + \sigma_1$$

$$\sigma_0 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 \quad \text{ve} \quad \sigma_1 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2$$

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{t_1-1} p_i, \quad \mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^{t_1-1} i p_i}{\omega_0} \quad (3.4)$$

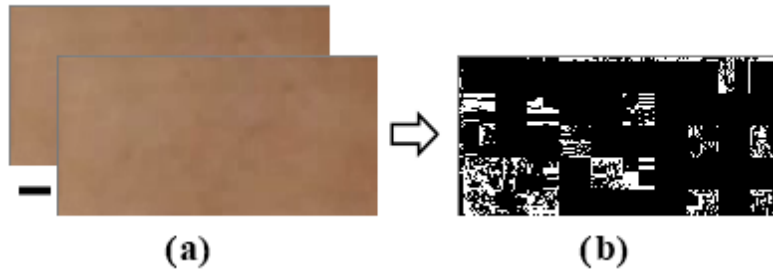
$$\omega_1 = \sum_{i=t_1}^{L-1} p_i, \quad \mu_1 = \frac{\sum_{i=t_1}^{L-1} i p_i}{\omega_1}$$

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i$$

$$\omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T \quad \text{ve} \quad \omega_0 + \omega_1 = 1$$

Burada μ_0 ve μ_1 , ikiye ayrılan bu iki bölgenin ortalama yoğunluğu, μ_T ise tüm görüntünün ortalama yoğunluğudur.

İki ardışık görüntü arasındaki farkın analiz edilerek bütünlüğe aykırı piksel değer değişimlerinin elenmesi aşamasında Otsu yönteminden faydalanılmıştır. Otsu yöntemi ile eşiklenerek ROI'nin istenmeyen etkenlerden filtrelenmesi aşaması şekil 3.8'de gösterilmiştir. Eşiklenmiş ikili görüntüde görüldüğü gibi kenarlarda hareket sebebiyle fazla renk değişimleri içeren bölgeleri, kamera kaynaklı noktasal gürültüleri ve görüntü transferinde sıkıştırma algoritmaları kaynaklı bloklanma efektleri beyaz ile gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra beyaz bölgeler işleme alınmayarak sadece siyah bölgelerle metoda devam edilir. Bu işlem yapılırken eşiklemenin piksellerin yarıdan fazlasını elememesi kontrolü uygulanmış olsa da, Otsu metodunun böyle bir sonuç verdiği gözlemlenmemiştir.

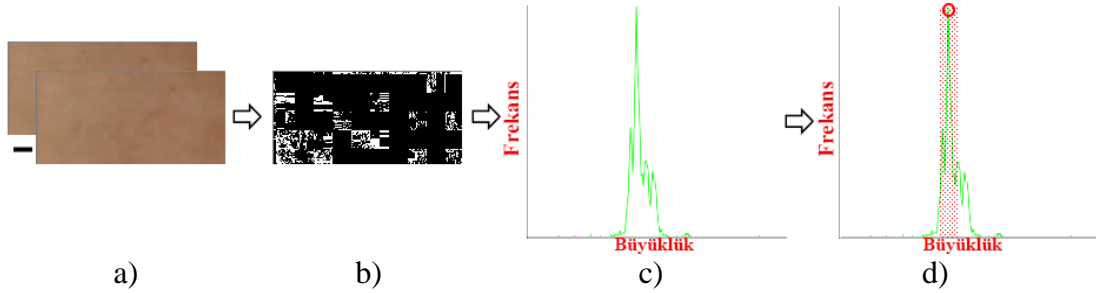


Şekil 3.8 Yüz ROI'sinde istenmeyen bölgelerin eşikleme ile elenmesi

a. Ardışık iki görüntünün ilgili kanalının mutlak farkının alınması, b. Bu farkın Otsu metodu ile eşiklenmesi ile elde edilen ikili maske görüntüsü

Bu eşikleme aşamasından sonra, bu yöntem sonunda yine de kalan bazı istenmeyen etmenler elenmektedir. Bu işlem histogramın analizi ile yapılmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi histogram, görüntüdeki piksel yoğunluklarının sayısına göre dağılımı

işlemidir. Alın bölgesinin genel olarak benzer yoğunluklara sahip olmasından ötürü ROI'nin histogramı tek bir noktaya yoğunlaşacak biçimde şekillenmektedir. Şekil 3.9.c'de görüldüğü üzere örnek alın görüntüsünün yeşil kanalının histogramı belli bir tepe noktası üzerinde toplanmıştır. Bu tepe noktasının yakın civarları istenilen bilgiyi taşıyan pikselleri temsil etmekte iken bu bölgenin dışında kalan küçük alanlar ise gürültüyü temsil ediyor olabilir, etmese bile geneli etkileyemeyecek kadar az oldukları için elenmesinde bir sakınca yoktur. Eleme işlemi ise histogramın tepe noktasının belli sayıda civar büyüklüklerinin hesaba katılıp diğer kısımlarının hesaba katılmaması ile yapılmıştır (Şekil 3.9.d). Yani tepe noktası x büyüklüğünü ifade ederse, histogramın $x-n$ kadar sol ve $x+n$ kadar sağ bölümü, toplamda $2*n+1$ lik bölüm ortalamaya katılacak, diğer kısımlar ortalamaya girmeyecektir. Bu sayede görüntünün geneline aykırı olan pikseller elenmiş olacak ve daha tutarlı sinyal üretilmiş olacaktır. Burada n değişkeninin en iyi sonucu veren değeri 11 olarak gözlemlenmiştir. Bu değer in sinyalin kalitesini nasıl etkilediği de çalışmanın değerlendirme kısmında bahsedilecektir.



Şekil 3.9 ROI'nin filtrelenmesi aşaması

a. Ardışık iki video karesi, b, Bu iki karenin eşiklenmesi sonucu beyaz ile işaretlenmiş istenmeyen bölgelerin filtrelenmesi, c. Bu filtreleme sonucu kalan piksellerin histogramı, d. Histogramın tepe yaptığı bölge ve yakın civarı dışındaki bölgelerin elenmesi

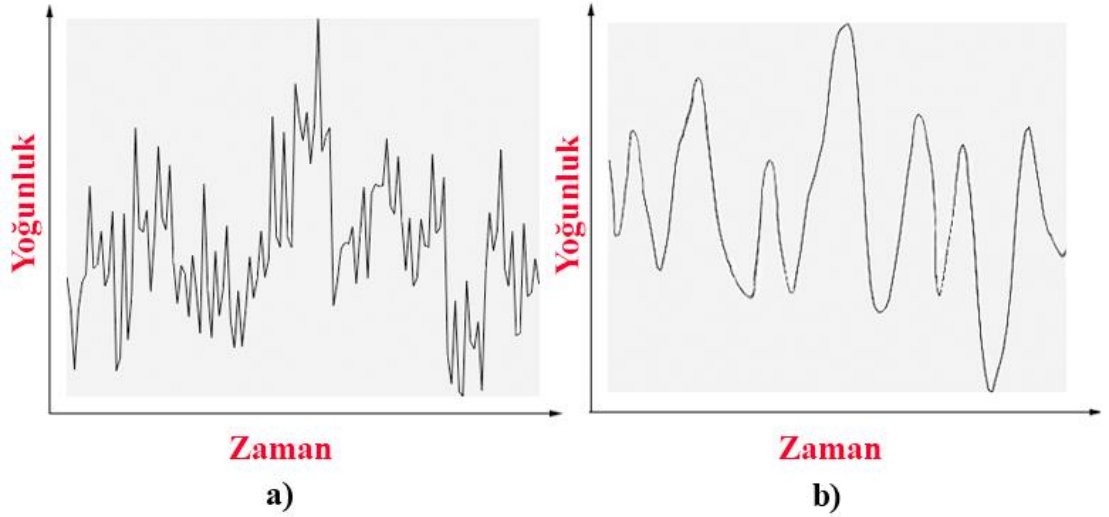
Eşikleme ve histogram işleme ile sinyali bozması muhtemel bölgeler elendikten sonra kalan piksellerin ortalamasının alınması ile ham RPPG sinyali elde edilmiştir. Bu işlem ardışık 125 görüntü karesinin her birine uygulanıp alınan sinyal bilgisi zaman bazında tek boyutlu olarak tutularak ham RPPG sinyali oluşturulmuş olur. İki görüntünün farkı ile işlem yapıldığından ilk görüntüye ait sinyal bilgisi olmayacağından ilk sinyal değerine ikinci sinyal değeri atanmıştır.

Sonraki bölümde, elde edilen bu sinyalin gürültülerden arındırılıp temizlenmesi ve kullanıma hazır bir biçime dönüştürülmesi konuları ele alınacaktır.

3.1.3 Sinyal filtreleme

Önceki bölümde her görüntü karesi için oluşturulan sinyaller zaman bazında en son işlenmek ve anlamlandırılmak üzere biriktirilir. Anlatılan yöntemde bir videodan ya da kameradan 5 saniyelik, yani 25 FPS bir görüntü için 125 görüntü karesi kendi içinde işlenerek her biri için 0-255 arası bir ortalama yoğunluk değeri elde edilir. Bu veriler tek boyutlu halde bir veri yapısı içerisinde tutulur. Yapı olarak bir sinyale dönüştürülen bu veriler gürültülerinden arındırılmak ve daha yumuşak hale getirilmek üzere bir takım sinyal filtrelerinden geçirilir.

Şekil 3.10'da filtrelenmemiş (a) ve filtrelenmiş (b) RPPG sinyalleri görülmektedir. Görselden de rahatça anlaşılabilirdiği üzere filtrelenmemiş bir sinyalin anlamlandırılıp yorumlandırılması zordur. Bu zorluk insan görseli için olduğu kadar bilgisayar için de geçerlidir.



Şekil 3.10 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş RPPG Sinyalleri

a. Filtrelenmemiş ham RPPG sinyali, b. Filtrelenmiş RPPG sinyali

Literatürde birçok sinyal filtresi mevcut olmasına rağmen bu çalışmada ham sinyalleri yorumlanabilirliği açısından en temiz filtreleme performansı gösteren Gaussian filtresi olmuştur (Kopparapu ve Satish 2014). Bir boyutlu zaman serileri için uygulanabilen bu filtre ile şekil 3.10.b’de görülen sinyal elde edilmiştir. Şekil 3.10.a’da görülen ham sinyal, çalışmanın sonraki aşamasında oluşturulacak sınıflandırıcı için yorumlanması zor olmasına rağmen filtrelene işlemi sonrası hem insan görseli için hem de bilgisayar için yorumlanması daha kolay hale getirilmiştir. Denklem (3.5)’de formülü bulunan Gaussian filtresi, bir boyutlu sinyale konvolüsyon uygulayarak belli komşulukta her bir sinyal verisini yumuşatmaktadır. Bu çalışmada, σ ’nın en iyi sonuç verdiği değer 5 olarak saptanmıştır ve bu şekilde kullanılmıştır.

$$h(x) = f * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x-\tau)g(\tau) d\tau \quad (3.5)$$

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

Ham sinyalin ani iniş çıkışlarının oluşmasına sebep olan etkenlerin başında ortam aydınlığındaki ani değişimler gelmektedir. Florasan gibi frekans temelli yanıp sönen ışık kaynakları ya da bir elektronik cihazın ekranından yüze yansıyabilecek ani ışık artışları ve azalışları bir veya birkaç görüntü karesinde varlığını korumakta ve sonra kaybolmaktadır. Bu durum da sinyalde sinyalin sürekliliğini bozan etkenlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Yine her ne kadar daha önceki bölümde bahsedilen gürültüler filtrelenmeye çalışılsa filtrelenememiş gürültüler de bu aşamaya kadar gelmekte ve sinyali bozabilmektedir. Bu gibi istenmeyen etkenler de bu adımda sinyalin filtrelemesi ile her tekil sinyal verisi, sinyalin geneline uyarlanarak aykırı bir durum varsa bastırılarak sinyal yumuşatılmıştır.

3.2 Sinyalin Eğitilmesi ve Testi

Bu bölümde filtrelenmiş RPPG sinyallerinin eğitilmesi ile oluşturulan sınıflandırıcı ve bu sınıflandırıcı sayesinde gerçekleştirilen canlılık tespiti uygulaması anlatılacaktır.

Destek vektör makineleri (SVM), benzer türde özelliklere ait nesnelere aynı gruba atayan bir tür makine öğrenmesi tekniğidir (Cortes ve Vapnik 1995). Kendisinden önce önerilen sınıflandırıcılardan farklı olarak değişkenler arasındaki ilişkilerin bilinmediği veriler için çalışabilmektedir. Sınıflandırırma için bir düzlemde bulunan gruplar arasında sınırlar koyarak grupları birbirinden ayıran bir yöntemdir. Doğrusal olarak çalışabildiği gibi bu çalışmadaki gibi lineer olmayan veri setleri üzerinde de çalışabilir.

Canlı yüz görüntülerinin yanı sıra cansız, yani saldırı videoları çeşitli halka açık veri setlerinden toplanmış ve her biriyle şu ana kadar yapılan çalışma ile RPPG sinyal verileri çıkartılmıştır. Toplamda 4 farklı veri seti işleme sokulmuştur. Bunlar; canlı yüz görüntüleri, fotoğraf saldırı videoları, video saldırı videoları ve 3B gerçekçi maske videolarıdır. Sonrasında SVM sınıflandırıcısı kullanılarak bu veriler iki grup olarak eğitilmiştir. İlk grup sadece canlı yüz videolarından edinilen RPPG sinyallerinden oluşmaktadır. İkinci grup ise saldırı verileri olan fotoğraf, video ve 3B maske videolarının RPPG sinyallerinden oluşmaktadır.

Her bir videoda her görüntü karesi, RGB ve HSV renk uzayına dönüştürülmüş ve ayrı ayrı R, G, B ve H kanalları için RPPG sinyalleri oluşturularak bu adıma kadar getirilmiştir. Tüm kanallar ayrı ayrı ve bazı kanallar birlikte olacak şekilde eğitimin başarısını görmek adına çeşitli eğitimler yapılmıştır. Kırmızı olan R ve mavi olan B kanalları yeterli bilgiyi taşımadığı gözlemlendiğinden eğitim aşamasına dâhil edilmemiştir. Her kanaldan alınan RPPG sinyalleri FFT ile frekans düzlemine çevirilerek eğitim sınıflandırıcısına verilmiştir.

FFT dönüşümü sonrası elde edilen sayısal veriler karmaşık sayılar olduğu için sınıflandırıcıya bu sayıların mutlak değerleri verilmiştir. Yeşil kanal olan G kanalı ve sadece renk bilgisi barındıran H kanalı tek tek eğitimlerde en iyi sonuçları vermişlerdir.

H ve G kanalının FFT dönüşümü sonrası art arda eklenmesi ile alınan sonuç diğerlerinden daha iyi çıkmıştır. Bunun sebebi sadece bir kanalın özelliği yerine iki kanalın da barındırdığı bilgileri kullanarak özelliklerin artırılması olarak yorumlanmıştır.

FFT, bilim dünyasında her alanda çok sık kullanılan bir dönüşüm modelidir (Mateer 2008). Zaman düzlemindeki verileri frekans düzlemine çeviren istatistik tabanlı bir işlemdir. RPPG gibi kendini tekrarlayan karmaşık sinyaller içinden periyodik olanlarını ortaya çıkarmakta başarılı olduğu gözlemlenmiştir. FFT uygulanan RPPG sinyalleri kalp ritmi bilgisini içeren frekans tabanlı bir yapıya dönüşür. SVM'e sınıflandırılmak üzere verilen FFT çıktısı, bu dönüşüme sokulmadan verilen RPPG sinyaline göre daha etkin sınıflandırma sonucu verdiği görülmüştür.

3.3 Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde geliştirilen metodolojinin adımları incelenmiştir. Metodolojide, girdi verisi olarak, nabız algılanması ile sahte ve gerçek yüzlerin ayırt edilmesi amacıyla yüz içeren video kareleri kullanılmaktadır. İlk adımda yüz bölgesinden kalp ritminin yakalanabileceği bir alan olan alın bölgesi bulunmuştur. Bu bölge önce kendi içinde istenmeyen etkenlerden arındırılmış daha sonra kalan tüm piksel yoğunluklarının ortalaması alınarak bir RPPG sinyal bileşeni hesaplanmıştır. Tüm video kareleri için bu değerler hesaplanıp zaman bazında bir boyutlu veri hazır edilerek ham RPPG sinyali elde edilmiştir. Sonrasında gürültüler barındıran ham sinyal filtrelenerek daha anlamlandırılabilir sinyal elde edilmiştir. Bütün örneklerden alınan bu sinyaller, FFT ile frekans düzlemine çevirilerek SVM sınıflandırıcısına verilmiştir. SVM bu verileri sınıflandırır ve sınıflandırıcıyı oluşturur. Test verilerinde bu sınıflandırma, girdi verisi üzerinde aynı işlemler tekrarlanarak edinilen RPPG sinyalini alarak sınıflandırıcıya verilir ve sınıflandırıcı örnek girdinin canlı ya da cansız olduğu bilgisini oluşturur. Sonuç olarak, toplanmış gerçek ve saldırı örnek yüz videoları bu yöntemlerle eğitilerek sisteme öğretilmiş olur ve test aşamasında verinin canlı ya da cansız olduğunu kalp ritmi tabanlı bu bilgiler yardımıyla ortaya çıkarılır.

4. ÖNERİLEN METODOLOJİNİN UYGULANMASI ve SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, önerilen metodolojinin uygulanması ve sonrasında gözlemlenen sonuçların değerlendirilmesine yer verilecektir.

4.1 Uygulama Platformu

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen metodolojinin uygulandığı kişisel bilgisayarın ve yazılımın platformunun özellikleri aşağıdadır.

- Intel Core i7-7700HQ,
- 2.81 GHz CPU,
- 16 GB RAM,
- Nvidia GeForce 1050ti,
- Visual Studio 2015,
- Matlab R2016

Yazılım dili olarak C++ programlama dili kullanılmıştır. Ayrıca aşağıdaki kütüphanelerden yararlanılmıştır.

- OPENCV,
- DLIB,
- BOOST

4.2 Veri Kümesi

Bu tez çalışmasında internette kullanıma açık olan, gerçek ve saldırı görüntü ve videoları CASIA (Zhang vd. 2012) ve NUAA (Tan vd. 2010) veri setlerinin dışında tez çalışanları tarafından oluşturulan veri setleri kullanılmıştır.

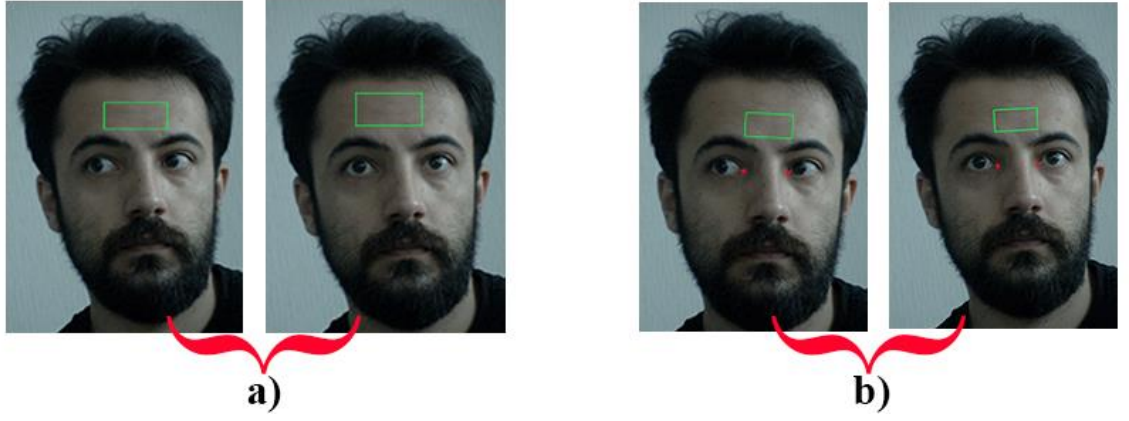
4.3 Önerilen Metodolojinin Uygulanması

Bu bölümde, bu çalışmanın içerdiği özgün yaklaşımların sonucu nasıl etkilediği, sonrasında metodolojinin uygulanması ve sonuçları ele alınacaktır.

Bu çalışmada, yüz tanıma sistemlerinin aşılmasını önlemeye yönelik birtakım yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler, yüzde ilgili ROI'nin oluşturulması, ROI'nin filtrelenmesi ve sonrasında işlenen RPPG sinyalinin eğitilip testten geçirilmesi aşamalarını içermektedir.

Canlılık tespiti için bu çalışmada önerilen, insan teninin kan akışıyla birlikte renk değiştirmesi bilgisinin doğru çıkartılması, metodolojinin sonraki adımlarda başarılı çalışması için hayati öneme sahiptir. Daha önceki çalışmalar genel olarak yüz koordinatlarının edinilmesinden sonra bu koordinatlardan basit matematiksel hesaplarla istenilen ROI'ye erişilmiştir (Poh vd. 2010). Basit ve kabaca bir yöntem olmasından dolayı, yüzün her görüntü karesinde aynı bölgesinin yakalanamaması RPPG işlemlerinde hatalı sinyal çıkarımlarına sebep olabilmektedir.

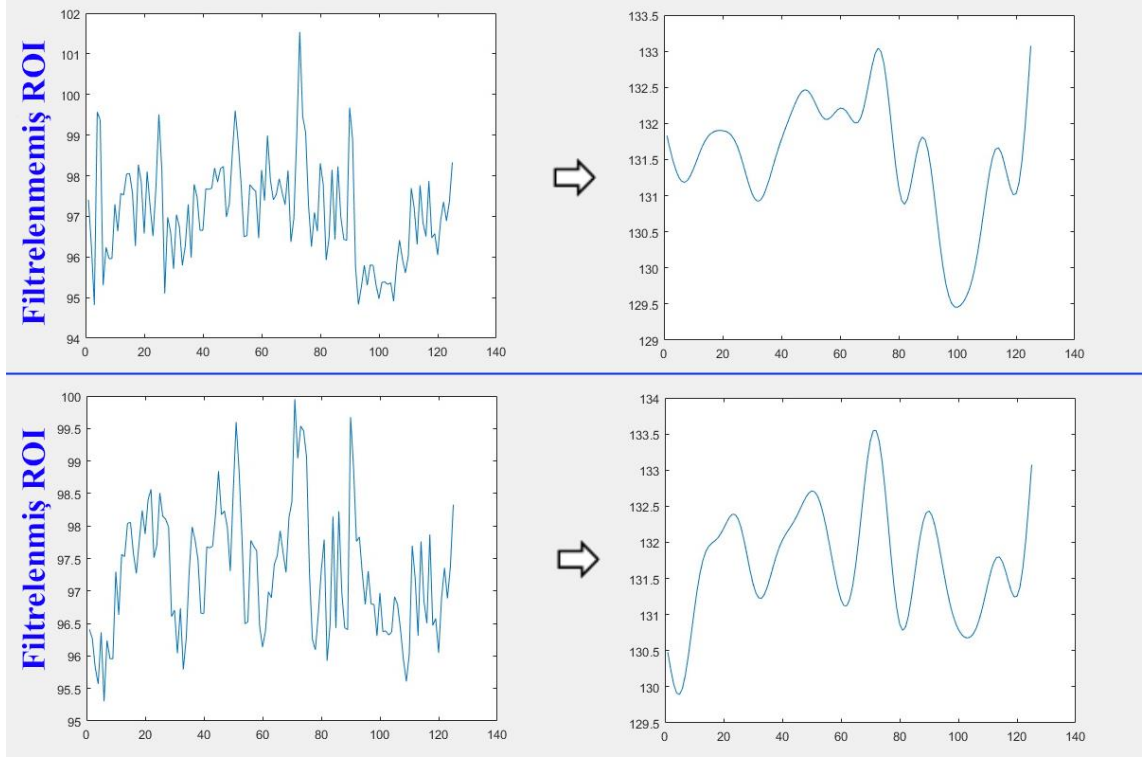
ROI'nin yüz bölgesinde çerçeveler arasında farklılık göstermesi, başka alanlara kayabileceği için alana ben ve kaş gibi farklı etkenler girmesine sebep olabilir. Bunun yanında yüzün farklı bölgeleri farklı aydınlanma alabileceği gibi, hareket etmesiyle alanının değişmesi gibi birçok etken sebebiyle ROI'nin sabit olmaması RPPG sinyalini olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Şekil 4.1'de ROI seçme-belirleme işlemi için önerilen yöntem ve diğer basit yöntemin belirlediği alanlar bakımından tutarlılığı görülmektedir.



Şekil 4.1 Rastgele iki görüntü çerçevesi için seçilen ROI'ler

a. ROI'nin yüz koordinatlarından basit hesaplamalarla çıkarıldığı yöntem, b. ROI'nin önerilen metodoloji ile daha sabit çıkarıldığı yöntem

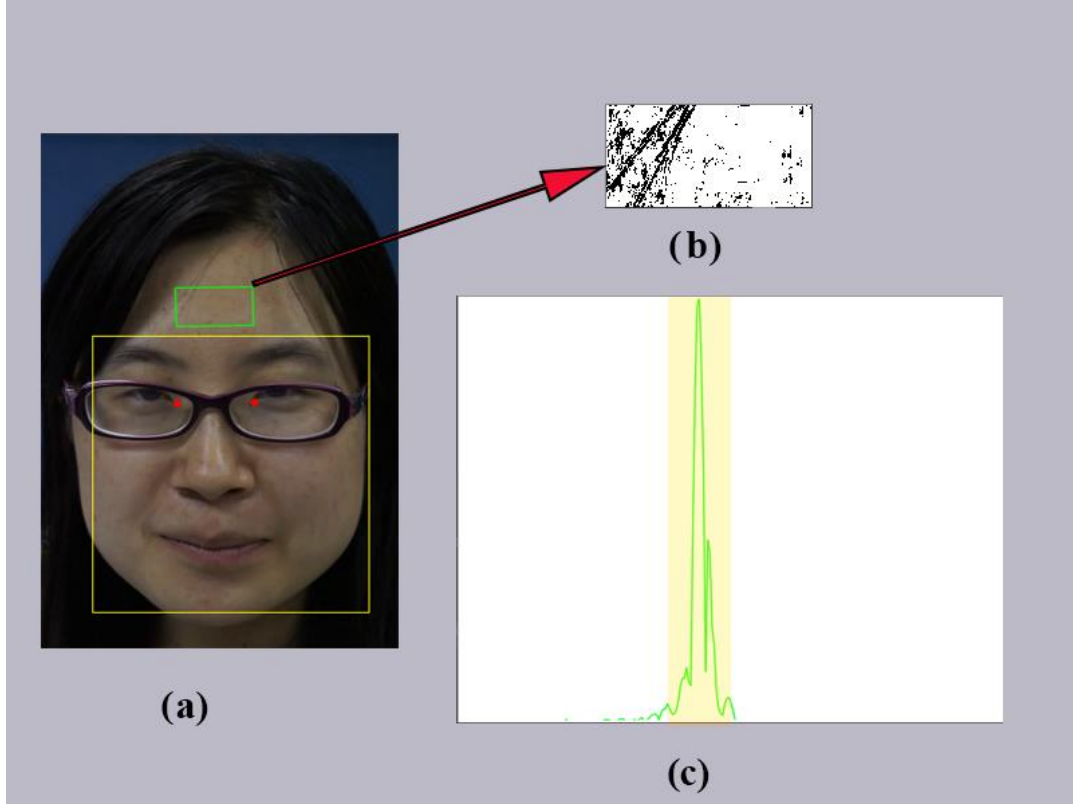
RPPG sinyal kalitesini etkileyen diğer bir etken ise ROI içerisinde gürültü barındıran piksel ve piksel öbeklerinin ayıklanması işlemidir. Daha önce bahsedilen herhangi bir gürültü kaynağı sebebiyle ROI içerisinde oluşan bu gürültüler sinyalin kalitesini etkilemektedir. Bu etkenleri sinyal oluşturma aşamasına geçmeden filtrelemek canlılık tespiti işleminin doğruluğunu arttırmak için önemli bir aşamadır. Bu filtreleme işlemi için önerilmiş olan yönteme dair örnek görüntü şekil 4.2'de gösterilmiştir. Örnek bir görüntü çerçevesinden alınan bu örnekte, sol sütunda filtrenmemiş ham RPPG sinyalleri, sağ sütunda ise filtrenmiş RPPG sinyalleri gösterilmektedir. Üst kısımda filtrenmemiş ROI'nin oluşturduğu sinyal, alt kısımda filtrenmiş ROI'nin oluşturduğu sinyal ile karşılaştırıldığında sinyal kalitesindeki artış net şekilde gözlemlenmektedir. Filtrenmiş ROI'nin ürettiği sinyal kalp ritimlerini daha net şekilde ortaya koymuştur. Görsel olarak daha belirgin bir sinyal olduğu gibi sınıflandırıcı için de daha anlaşılır ve yorumlanabilir bir veriye dönüşmüştür.



Şekil 4.2 Filtrenmiş ve filtrenmemiş ROI'lerin RPPG sinyal kalitesine etkisi

Metodolojinin çalışma prensibi bir örnekle incelenecek olursa, şekil 4.3'te gözlemlendiği gibi ilk olarak sisteme video ya da canlı kamera görüntüleri sırayla verilir. Alınan görüntü ilk olarak yüz tanıma sistemine girer ve yüz koordinatları, şekil 4.3.a'da sarı ile belirtildiği gibi elde edilir. Daha sonra bu koordinatlar FL tespit sistemine gönderilir ve yüze ait 68 FL noktası sağlanmış olur. Bu FL noktalarından göze ait olan 39. ve 42. noktalar yardımıyla daha önce bahsedilen metodla alın bölgesi, yani ROI elde edilir (Şekil 4.3.a). Her kare işlendikten sonra, bir sonraki kareye geçilirken önceki kare sistem hafızasında tutulur ve güncel kare ile mutlak farkı alınır. Bu fark eşikleme metoduna sokulur ve sonrasında iki ardışık ROI arasındaki normal olmayan farklılıklar elde edilmiş olur (Şekil 4.3.b). Burada şekil 4.3.b'de de açık şekilde gözlemlendiği gibi, gürültü ifade edebilecek pikseller elendiği gibi bu örnekte görüntüye giren saç da tespit edilerek işleme alınmamış ve tene ait olmayan kısım elenerek sinyalin düzenliliği korunmuştur. Bu eşikleme sonrası kalan pikseller için görüntü histogramı hesaplanır. Hesaplanan histogramda, metodolojide bahsedildiği üzere histogramın tepe noktasını çevreleyen baskın dilim işleme alınır ve diğer bölgelere ait pikseller elenir (Şekil 4.3.c). Kalan piksellerin ortalaması alınarak o görüntü karesine ait

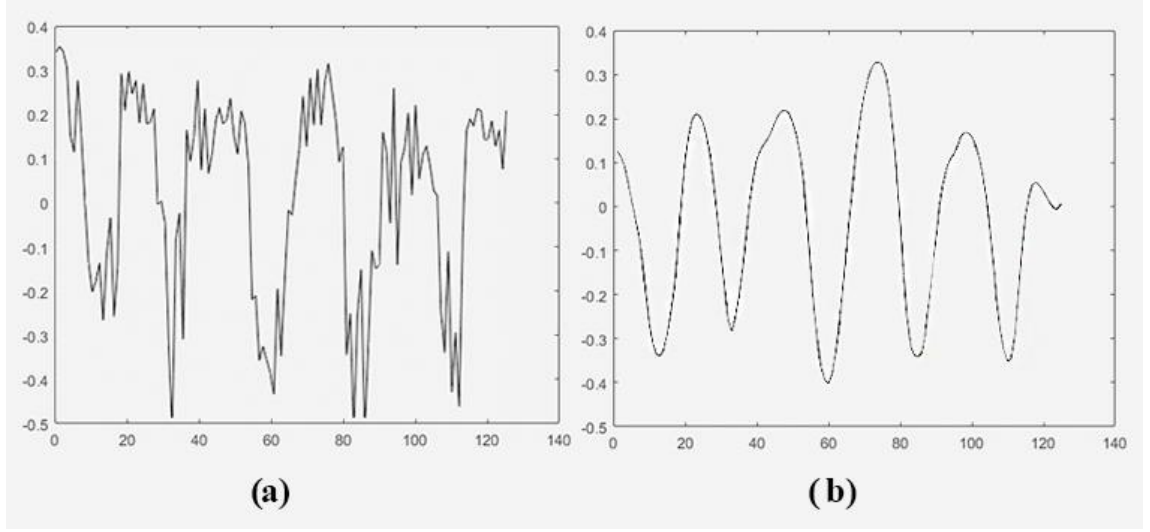
sinyal değeri bulunmuş olur. Bu sinyal değerleri zaman bazında biriktirilerek, 125 görüntü karesi sonrası buraya kadar yapılan işlemler durdurulur ve sonraki adıma geçilir.



Şekil 4.3 Görüntü karesinin sinyal alınana kadar geçtiği aşamalar

a. Yüz bölgesinin ve ROI'nin belirlenmesi, b. ROI bölgesinin eşiklenmesi, c. Görüntü histogramının oluşturulması ve filtrelenmesi

Sonraki adımda, biriktirilen bu ham RPPG sinyali gürültülerden arındırılmak ve kolay yorumlanabilmesi açısından yumuşatılarak filtrelenir. Şekil 4.4.a'da ham sinyal ve Şekil 4.4.b'de işlenmiş sinyal görülmektedir.



Şekil 4.4 RPPG sinyalinin işlenmesi aşaması

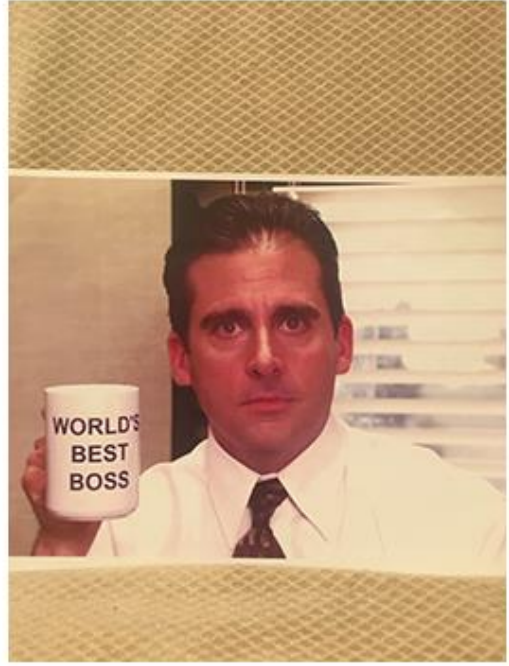
a. Ham sinyal, b. İşlenmiş sinyal

Buraya kadar anlatılan işlemler hem eğitim hem test aşamasında yapılmaktadır. Bu kısımdan sonra metodoloji ikiye ayrılmaktadır. Canlılık tespitinin yapılabilmesi için sistemin eğitilmesi gerekmektedir. Bu şekilde işlenmiş sinyali üretilen canlı ve cansız saldırı örnekleri için, her sınıfa mümkün olduğu kadar örnek veri toplanır ve SVM ile sistem eğitilir ve SVM'in ürettiği sınıflandırıcı, test aşamalarında kullanılmak üzere biriktirilir.

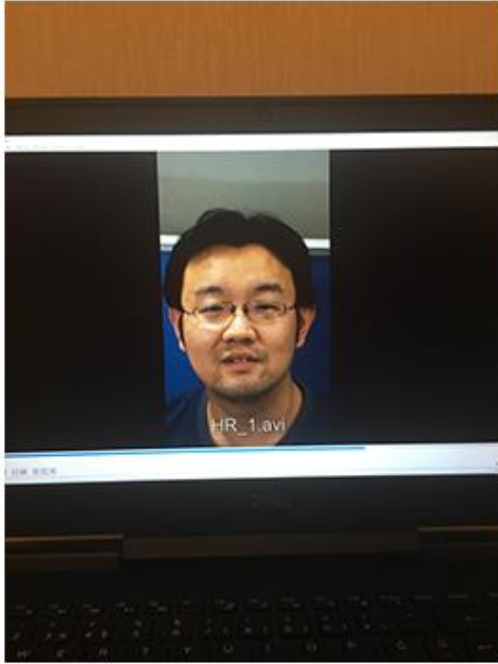
Şekil 4.5'te eğitim ve test aşamasında kullanılan örnek yüz görüntülerinden her kategoriye ait birer örnek görülmektedir. Uygulamanın test aşamasında, bu tür görüntülerden biri girdi olarak sisteme verilir ve sistem yukarıda anlatıldığı gibi yüze ait RPPG sinyalini çıkartır. Sinyal çıkarıldıktan sonra eğitim aşamasında elde edilen SVM sınıflandırıcısına bu veri sokulur ve *olumlu* ya da *olumsuz* olarak bir cevap alınır. Şekil 4.5'teki örneklerden (a) hariç diğerlerine olumsuz cevap dönmesi beklenir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.5 Eğitim ve saldırı örnek görüntüleri

a. Canlı gerçek görüntü, b. Cansız fotoğraf görüntüsü, c. Cansız video görüntüsü, d. Cansız 3B lateks maske

4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu b3l3mde uygulanan metodolojinin sonuçları değerlendirilecektir. RPPG sistemi ile 3B maske saldırılarını da içeren canlılık tespiti y3ntemini temel alan çalışmalar, nispeten yeni bir konu olduğu için bu tezin çalışılmaya başlandığı tarihte literat3rde rastlanılmamıştır ya da karşılaştırma yapılabilecek uygunlukta çalışma bulunamamıştır. Bunun yanında bu çalışmaya en benzer nitelikte olan çalışmaların veri setlerine erişilememiştir. Bu y3zden sistemin kendi içerisindeki başarisından bahsedilecektir ve farklı g3r3nt3 işleme teknikleriyle bu çalışmada kullanılan veri setlerini kullanan çalışmalar ile karşılaştırma yapılacaktır.

Bundan 3nce, metodolojinin geliştirilmesi aşamasında g3zlenen bulgular ve farklı deneyler ile alınan sonuçlardan bahsedilecektir.

Bu çalışmada kullanıma açık olan CASIA (Zhang vd. 2012) ve NUAA (Tan vd. 2010) veri setleri kullanılmıştır. Bu veri setleri gerçek g3r3nt3ler, fotoğraf saldırı ve video saldırı g3r3nt3leri içermektedir. Var olduğu s3ylenen 3B maske veri seti için ilgili iki birime talep g3nderilmiş fakat cevap alınamamıştır. O y3zden 3B maske veri seti tarafımızca az miktarda oluşturularak kullanılmıştır. şu an için lateks ve silikon maskelerin maliyeti y3ksek olduğundan bir tane maske edinilebilmiş, eğitim ve test için bu maske 3zerinden veri sağlanmıştır.

Daha 3nceki b3l3mlerde bahsedildiği 3zere, RPPG sinyali genellikle RGB renk uzayının yeşil kanalında daha net g3zlemlenebildiği için bu kanal 3zerinde çalışılmıştır. Yine HSV renk uzayının renk bilgisi barındıran H kanalı da yeterli sayılabilecek bilgiler taşımaktadır ve bu y3zdenbu çalışmada H kanalından da faydalanılmıştır. Bunlar dışında kalan kanallarda RPPG bilgisinin g3zlemlenemediği ya da yetersiz derecede g3zlemlendiği için kullanılmamıştır. Bu bağlamda eğitimde kullanmak 3zere girdi verilerinin G ve H kanallarına ait sinyal bilgileri çıkarılmıştır. Kanallar dışında, eğitim için sadece filtrelenmiş sinyal ve bu filtrelenmiş sinyalin frekans d3n3ř3m3 yapılmış verileri gibi varyasyonlar denenmiştir.

Ayrıca bu çalışmanın yüz tanıma sisteminin yüz tanıma işleminin hemen öncesinde çalışması düşünüldüğünden bu canlılık analizinin kısa sürede yapılması gerektiği düşünülerek analiz süresi 5 saniye ile sınırlanmıştır. Çoğu RPPG çalışmasında bu süre böyle bir amaç güdülmendiğinden çok daha uzun tutulmuştur. Süre uzadıkça daha fazla veri ve daha uzun sinyal alındığı için daha tutarlı sonuçlar üretilebilir olduğu gözlemlense de bu sürenin kısa tutulması gerektiği düşünülerek metodoloji 5 saniyelik analizler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Toplamda iki halka açık veri seti ve tarafımızca toplanan veri setleri sonucunda elde 120 canlı yüz videosu, 120 cansız fotoğraf saldırısı videosu, 120 cansız video saldırı videosu ve 20 maske saldırısı oluşmuştur ve eğitim ile test aşamasında bu veriler kullanılmıştır. Burada, bazı gruplar için fazla veri olmasına rağmen eğitimde sınıflar için eşit sayıda örnek sağlamanın eğitim sonucuna etkisi olduğundan set içi veri sayıları maske seti hariç eşit tutulmaya çalışılmıştır. Aynı verinin hem eğitim hem test aşamasında kullanılması makine öğrenmesinde tercih edilmeyen, yanıltıcı sonuçlar üretebilen bir durumdur. Bu yüzden eğitim ve test setini karşılıklı en verimli şekilde kullanabilmek için bir çapraz doğrulama (LOOCV) yöntemi kullanılmaktadır. Biri hariç tüm set eğitimde kullanılır ve o bir veri ile test edilir. Daha sonra bu veri değiştirilir ve setteki tüm veri sayısı kadar bu dönüşümlü devam eder. Bu çalışmada da setlerin kullanımında LOOCV yöntemi uygulanmıştır.

Aşağıdaki tablolarda H, G ve H + G renk kanalları için FFT'siz ve FFT'li olmak üzere toplam 6 farklı deney yapılmıştır. Her çalışma ise kendi içerisinde çapraz testlere tabi tutulmuştur. Yani örneğin sadece canlı yüz ve saldırı yüz fotoğrafı setleri ile eğitilen sistem, canlı yüz ve saldırı maske ile de denenmiştir. Cansız veri setlerinin davranışları canlıdan farklı olduğundan ve kendi içlerinde birbirlerine benzediğinden (RPPG sinyali alınamaması ve belli bir frekans şablonunun olmaması) bunların birbirleri arasındaki başarımları da ayrıca gözlemlenmiştir. Tablolardaki satır kısmı eğitimde kullanılan setleri, sütun kısmı ise testte kullanılan setleri ifade etmektedir.

Çizelge 4.1'de sadece G kanalı, yani yeşil kanal kullanılmış ve FFT dönüşümü yapılmamıştır. Bu deneyde tüm setlerin eğitimi ile elde edilmiş sınıflandırıcının yine

tüm setler üzerindeki testinde başarıım % 82 çıkmıştır. En yüksek başarıım ise % 90 ile eğitim setinde canlı yüz – fotoğraf saldırı, test setinde canlı yüz - fotoğraf saldırı ile yakalanmıştır.

Çizelge 4.1 G kanalında FFT dönüşümsüz başarı oranları

<i>G Kanalı</i>		Test			
		Canlı – Fotoğraf	Canlı – Video	Canlı – Maske	Canlı – Tümü
Eğitim	Canlı – Fotoğraf	% 90	% 76	% 77	% 64
	Canlı – Video	% 69	% 88	% 63	% 59
	Canlı – Maske	% 44	% 58	% 89	% 43
	Canlı – Tümü	% 89	% 88	% 84	% 82

Çizelge 4.2’de sadece H kanalı, yani renk bilgisi taşıyan Hue kanal kullanılmış ve FFT dönüşümü yapılmamıştır. Bu deneyde tüm setlerin eğitimi ile elde edilmiş sınıflandırıcının yine tüm setler üzerinde testinde başarıım % 77 çıkmıştır. En yüksek başarıım ise % 83 ile eğitim setinde canlı yüz – video saldırı, test setinde canlı yüz - video saldırı ile yakalanmıştır.

Çizelge 4.2 H kanalında FFT dönüşümsüz başarı oranları

<i>H Kanalı</i>		Test			
		Canlı – Fotoğraf	Canlı – Video	Canlı – Maske	Canlı – Tümü
Eğitim	Canlı – Fotoğraf	% 82	% 73	% 68	% 66
	Canlı – Video	% 66	% 83	% 61	% 54
	Canlı – Maske	% 44	% 59	% 78	% 49
	Canlı – Tümü	% 81	% 82	% 83	% 77

Çizelge 4.3’te H ve G kanalları beraber kullanılmıştır; yani renk bilgisi taşıyan Hue kanalından edinilen RPPG sinyali ile G kanalından edinilen RPPG sinyali arka arkaya eklenerek sınıflandırıcıya verilmiştir. FFT dönüşümü yapılmamıştır. Bu deneyde tüm setlerin eğitimi ile elde edilmiş sınıflandırıcının yine tüm setler üzerinde testinde başarıım % 80 çıkmıştır. En yüksek başarıım ise % 85 ile eğitim setinde canlı yüz – fotoğraf saldırı, test setinde canlı yüz - fotoğraf saldırı ile yakalanmıştır.

Çizelge 4.3 G ve H kanalında FFT dönüşümsüz başarı oranları

<i>H ve G Kanalı</i>		Test			
		Canlı – Fotoğraf	Canlı – Video	Canlı – Maske	Canlı – Tümü
Eğitim	Canlı – Fotoğraf	% 85	% 74	% 68	% 66
	Canlı – Video	% 68	% 82	% 61	% 68
	Canlı – Maske	% 71	% 62	% 84	% 56
	Canlı – Tümü	% 81	% 82	% 83	% 80

Çizelge 4.4’te sadece G kanalı, yani yeşil kanal kullanılmış ve FFT dönüşümü yapılmıştır. Bu deneyde tüm setlerin eğitimi ile elde edilmiş sınıflandırıcının yine tüm setler üzerinde testinde başarıım % 87 çıkmıştır. En yüksek başarıım ise % 92 ile eğitim setinde canlı yüz – video saldırı, test setinde canlı yüz – video saldırı ile yakalanmıştır.

Çizelge 4.4 G kanalında FFT dönüşümlü başarı oranları

<i>G Kanalı, FFT</i>		Test			
		Canlı – Fotoğraf	Canlı – Video	Canlı – Maske	Canlı – Tümü
Eğitim	Canlı – Fotoğraf	% 91	% 77	% 62	% 78
	Canlı – Video	% 71	% 92	% 41	% 51
	Canlı – Maske	% 55	% 58	% 90	% 61
	Canlı – Tümü	% 88	% 84	% 86	% 87

Çizelge 4.5’te sadece H kanalı, yani renk bilgisi taşıyan Hue kanal kullanılmış ve FFT dönüşümü yapılmıştır. Bu deneyde tüm setlerin eğitimi ile elde edilmiş sınıflandırıcının yine tüm setler üzerinde testinde başarıım % 83 çıkmıştır. En yüksek başarıım ise % 88 ile eğitim setinde canlı yüz – fotoğraf saldırı, test setinde canlı yüz - fotoğraf saldırı ile yakalanmıştır.

Çizelge 4.5 H Kanalında FFT dönüşümlü başarı oranları

<i>H Kanalı, FFT</i>		Test			
		Canlı – Fotoğraf	Canlı – Video	Canlı – Maske	Canlı – Tümü
Eğitim	Canlı – Fotoğraf	% 88	% 73	% 63	% 74
	Canlı – Video	% 65	% 83	% 77	% 71
	Canlı – Maske	% 56	% 66	% 84	% 64
	Canlı – Tümü	% 82	% 86	% 87	% 83

Çizelge 4.6’da FFT dönüşümü ile H ve G kanalları beraber kullanılmıştır; yani renk bilgisi taşıyan H kanalından edinilen RPPG sinyali ile G kanalından edinilen RPPG sinyaline FFT uygulanmış ve bu veriler tek boyutlu olarak arka arkaya eklenerek sınıflandırıcıya verilmiştir. Bu deneyde tüm setlerin eğitimi ile elde edilmiş sınıflandırıcının yine tüm setler üzerinde testinde başarıım % 92 çıkmıştır ve en yüksek genelleyici başarıım elde edilmiştir. En yüksek başarıım ise % 93 ile eğitim setinde canlı yüz – video saldırı, test setinde canlı yüz - video saldırı ile yakalanmıştır.

Çizelge 4.6 H ve G kanalında FFT dönüşümlü başarı oranları

<i>G ve H Kanalı, FFT</i>		Test			
		Canlı – Fotoğraf	Canlı – Video	Canlı – Maske	Canlı – Tümü
Eğitim	Canlı – Fotoğraf	% 94	% 76	% 81	% 79
	Canlı – Video	% 73	% 93	% 71	% 71
	Canlı – Maske	% 77	% 77	% 93	% 66
	Canlı – Tümü	% 87	% 81	% 88	% 92

Sonuç olarak, G ve H bilgisinin beraber eğitilmesinin bunların tek tek eğitilmesinden daha yüksek başarı sağladığı görülmüştür. Burdan çıkarılan, daha fazla bilgi sunulmasının sistemin öğrenmesini iyi yönde etkilediğidir. Ayrıca FFT uygulanan sinyaller de uygulanmayan sinyallere kıyasen daha yüksek başarı göstermiştir. Burdan da RPPG frekans içeren dalgalardan oluşan bir sinyal olduğundan, zaman düzleminden frekans düzlemine geçirilen verilerin daha iyi sınıflandırılabilirdiği çıkarılabilir.

Çizelge 4.7’de ise ilgili çalışmalar kısmında bahsedilen, RPPG yöntemi ile canlı yüz – saldırı yüz görüntülerini ayırt etmek üzerine geliştirilmiş yöntemlerin başarıları ile

önerilen metodoloji karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaların, özellikle başarımlarının yüksek olmasından dolayı testlerinde kullanılan veri setlerine erişerek önerilen yöntemi aynı set ile test etmek istenmiş olsa da ilgili veri setlerine erişim sağlanamamıştır. Yine de, işlem analiz sürelerinin önerilen metodolojiden daha fazla olması -ki bu başarıyı artıran bir etkidir- ve 3B maske saldırılarının dâhil edilmemiş olması sebebiyle başarımları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.7 RPPG yöntemi ile canlılık doğrulaması sistemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	İşlem Süresi	3B Maske Çalışması	Başarımlar
Nowara vd.	Belirtilmemiş	Hayır	% 100
Kang vd.	9 saniye	Hayır	% 94
Önerilen Metodoloji	5 saniye	Evet	% 92

İlgili çalışmalar kısmında bahsedilen, RPPG haricinde bazı görüntü analiz yöntemleriyle canlı yüz ve saldırı yüz görüntülerini ayırt etmek üzerine yapılmış ve bu çalışmada kullanılan veri setlerini kullanmış yöntemler de çizelge 4.8'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için bu çalışmada önerilen metodoloji, NUAA ve CASIA veri setleri ile ayrı ayrı eğitilip test edilmiştir. NUAA veri seti ile yapılan test % 87 başarımlar göstermiştir ki bu Chingovska'nın başarımlarıyla aynıdır. Yine önerilen metodolojinin CASIA veri seti ile testi % 90 başarımlar gösterirken, aynı veri setindeki Wen'in çalışması % 87, Chingovska'nın çalışması ise % 82 başarımlar göstermiştir. Önerilen RPPG temelli metodoloji, görüntü analiz temelli bu iki çalışmayı aynı oranda ve daha yüksek oranda başarımlar sağlayarak geride bırakmıştır.

Çizelge 4.8 Diğer yöntemler ile aynı veri setleri üzerinde canlılık doğrulama sistemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Veri Seti	Başarımlar
Chingovska	NUAA	% 87
Önerilen Yöntem	NUAA	% 87
Wen	CASIA	% 87
Chingovska	CASIA	% 82
Önerilen Yöntem	CASIA	% 90

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, yüz tanıma sistemlerine karşı sahte yüzler ile gerçekleştirilen saldırıların yüzde canlılığın saptanması ile önlenmesi konulu bir çalışma yapılmıştır. Yüzden kamera ile nabız ölçümü yapılabildiği, bu bilginin de kullanılarak kamera önündeki kişinin canlılığını ortaya koyabileceği düşünülerek, fotoğraf, video ve 3B maskeler ile yapılan saldırıları önleyebileceği fikri ile yola çıkılarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bugün kameraların ve yüz tanıma sistemlerinin her geçen gün daha da hayatımıza yerleşmesi ile birlikte bu teknolojinin güvenliğinin sağlanması da önemli bir konu haline gelmiştir. Yüz tanıma sistemi ile internet üzerinden ödeme yapmanın çok uzakta olmadığı düşünüldüğünde bu sistemlerin risklerinin giderilmesi de hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada bu riskleri en aza indirecek bir metodoloji önerilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen yöntem temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır; ilk aşamada kameradan ya da videodan alınan görüntü kareleri zaman bazında analiz edilerek nabız bilgisi çıkarılmakta, ikinci aşamada ise bu bilgiler kullanılarak eğitim ya da test yapılmaktadır. İlk aşama aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Görüntüde yüz bölgesinin bulunması ve yüzün analiz edilecek alın bölgesinin belirlenmesi.
- Bu analiz bölgesinin bazı filtrelerden geçirilerek gürültülerden arındırılması.
- Gürültülerden arındırılmış bölgenin nabız bilgisini oluşturacak renk yoğunluk değerinin çıkartılması.
- Çıkartılan bu bilgilerin zaman bazında biriktirilerek sinyal olarak hazırlanması.
- Sinyalin filterlerden geçirilerek temizlenip yumuşaklaştırılması.
- Sinyalin zaman düzleminde frekans düzlemine geçirilerek kullanıma hazır hale getirilmesi.

İkinci aşamada, eğitim ve test aşamalarında kullanılacak bu sinyal verisinin eğitilmesi ya da eğitim ile çıkarılmış sınıflandırıcı ile teste tabi tutulmasını içerir.

Tez kapsamında internette yayınlanan iki kullanıma açık veri seti ve tez çalışması süresince tez çalışanları tarafından toplanmış özel veriler kullanılmıştır. Bu veriler ile yapılan eğitim ve testler ile belli deneyler yapılmıştır. Farklı deneyler sonucunda, G ve H kanalının FFT dönüşümü sonuçları ile fotoğraf, video ve maske saldırılarının tümünü kapsayacak şekilde canlı-cansız yüz bilgileriyle eğitilen sınıflandırıcının tüm test verileri üzerinde % 92 başarı sağladığı görülmüştür.

Bu çalışmada, yüz analiz süresince kişinin metodu kontrollü kullandığı, yani ani hareketler ya da yüzün analizini zorlaştıracak hareketlerde bulunmadığı ve ortam aydınlatmasının sabit ve yeterli olduğu varsayılmıştır. Ayrıca yüzün analize en uygun bölümünün alın olduğunun belirlenmesinden dolayı, deneğin alınının açık olması gerektiği farzedilmiştir. Ayrıca makyaj gibi analiz bölgesinde derinin üzerini kapatıp ışık geçirgenliğini azaltacak etmenler sistemin çalışmasını olumsuz etkileyeceğinden yok varsayılmıştır. Kameraların yüksek çözünürlükte, sıkıştırma miktarının düşük ve sabit olmasının başarımı arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunların yanında sistemin gerçek senaryoda çalışacağını düşünülmesi ile yani canlılık tespitinin olabildiğince hızlı yapılıp yüz tanıma sisteminin işleyişini aksatmaması için metodoloji 5 saniye kadar kısa bir sürede analizi tamamlayacak şekilde geliştirilmiştir.

İlgili çalışmalarda bahsedilen yöntemler, bu tür yüz tanıma sistemi saldırılarını daha önce temel görüntü işleme yöntemleriyle çözmüşlerdir. Bir kısım yöntem temel mimik gibi kullanıcı etkileşimli yöntemleri kullanmışken, bir başka kısım yöntem ise görüntünün öznelik bilgileri analiz edilerek, gerçek ve fotoğraf & video saldırılarının bu öznelik bilgilerine dayalı bilgi çıkarımının farklı sonuçlandığını görmüş buradan yola çıkarak gerçek ve saldırı görüntülerini ayırabilmişlerdir. Bu çalışmalar çeşitli saldırıları tespit edebilse de, önlem olarak aldıkları saldırı çeşitlerinde 3B maskeler olmasa da, çalışmalarımızda bu yöntemlerin nadiren 3B maske saldırılarını önlediği görülmüştür. Bu çalışmada ise, bugüne kadar karşılaşılan tüm saldırı yöntemlerini algılayacak, nabız çıkartımı tabanlı bir yöntem önerilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, sistemin ortam değişkenlerinden daha az etkilenecek şekilde geliştirilmesi ve başarımının yükseltilmesi planlanmaktadır. Ayrıca daha fazla veri

setine erişilerek derin öğrenme yöntemiyle metodolojinin başarısının arttırılması düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Bao, W., Li, H., Li, N. and Jiang, W. 2009. April. A liveness detection method for face recognition based on optical flow field. In *Image Analysis and Signal Processing*, 2009. IASP 2009. International Conference on (pp. 233-236). IEEE.
- Chetty, G. 2010. Robust audio visual biometric person authentication with liveness verification. In *Intelligent Multimedia Analysis for Security Applications* (pp. 59-78). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chingovska, I., Anjos, A. and Marcel, S. 2012. September. On the effectiveness of local binary patterns in face anti-spoofing. In *Biometrics Special Interest Group (BIOSIG), 2012 BIOSIG-Proceedings of the International Conference of the* (pp. 1-7). IEEE.
- Cortes, C. and Vapnik, V. 1995. Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), pp.273-297.
- Davis E. K. 2009. "Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit" *Journal of Machine Learning Research* 10, pp. 1755-1758.
- Frischholz, R.W. and Werner, A. 2003. October. Avoiding replay-attacks in a face recognition system using head-pose estimation. In *Analysis and Modeling of Faces and Gestures*, 2003. AMFG 2003. IEEE International Workshop on (pp. 234-235). IEEE
- Hadid, A. 2008. The local binary pattern approach and its applications to face analysis. In *Image Processing Theory, Tools and Applications*, 2008. IPTA 2008. First Workshops on (pp. 1-9). IEEE.
- Kang, J.S., Abbas, S.N. and Yadav, U. 2017. Liveliness Detection in Face Recognition Systems Using RPPG.
- Kant, C. and Sharma, N. 2013. Fake face recognition using fusion of thermal imaging and skin elasticity. *IJCSC*, 4, pp.65-72.
- Kazemi, V. and Josephine, S. 2014. One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees. In *27th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2014, Columbus, United States, 23 June 2014 through 28 June 2014* (pp. 1867-1874). IEEE Computer Society.
- Kollreider, K., Fronthaler, H. and Bigun, J. 2009. Non-intrusive liveness detection by face images. *Image and Vision Computing*, 27(3), pp.233-244.
- Kopparapu, S. and Satish, M. 2014. Optimal Gaussian Filter for Effective Noise Filtering. arXiv preprint arXiv:1406.3172.

- Kumar, S., Singh, S. and Kumar, J. 2017. A Comparative Study on Face Spoofing Attacks. In IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), 5th-6th May.
- Lam, A. and Kuno, Y. 2015. Robust heart rate measurement from video using select random patches. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (pp. 3640-3648).
- Lempe, G., Zaunseder, S., Wirthgen, T., Zipser, S. and Malberg, H. 2013. ROI selection for remote photoplethysmography. In *Bildverarbeitung für die Medizin 2013* (pp. 99-103). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Li, X., Chen, J., Zhao, G. and Pietikainen, M. 2014. Remote heart rate measurement from face videos under realistic situations. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 4264-4271).
- Mateer, T. 2008. Fast Fourier transform algorithms with applications (Doctoral dissertation, Clemson University).
- Nowara, E.M., Sabharwal, A. and Veeraraghavan, A. 2017. May. PPGSecure: Biometric Presentation Attack Detection Using Photoplethysmograms. In *Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017)*, 2017 12th IEEE International Conference on (pp. 56-62). IEEE.
- Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. vol. 9. IEEE, pp. 62-66.
- Pan, G., Sun, L., Wu, Z. and Lao, S. 2007. Eyeblink-based antispoofing in face recognition from a generic Webcam. In *International Conference 11th Computer Vision (ICCV'07)*, IEEE, Rio de Janeiro, Brazil.
- Poh, M.Z., McDuff, D.J. and Picard, R.W. 2010. Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics express*, 18(10), pp.10762-10774.
- Sharma, S., Karthikeyan Shanmugasundaram, and Sathees Kumar Ramasamy. 2016. "FAREC - CNN based efficient face recognition technique using Dlib." *Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, 2016 International Conference on. IEEE.
- Tan, X., Li, Y., Liu, J. and Jiang, L. 2010. September. Face liveness detection from a single image with sparse low rank bilinear discriminative model. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 504-517). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Verkruyse, W., Svaasand, L.O. and Nelson, J.S. 2008. Remote plethysmographic imaging using ambient light. *Optics express*, 16(26), pp.21434-21445.

- Viola, P. and Jones, M. 2001. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on (Vol. 1, pp. I-I). IEEE.
- Wen, D., Han, H. and Jain, A.K. 2015. Face spoof detection with image distortion analysis. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 10(4), pp.746-761.
- Wu, H.Y., Rubinstein, M., Shih, E., Guttag, J., Durand, F. and Freeman, W. 2012. Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world.
- Zhang, Z., Yan, J., Liu, S., Lei, Z., Yi, D. and Li, S.Z. 2012. March. A face antispoofing database with diverse attacks. In Biometrics (ICB), 2012 5th IAPR international conference on (pp. 26-31). IEEE.
- Zijlstra, W.G., Buursma, A. and Meeuwse-Van der Roest, W.P. 1991. Absorption spectra of human fetal and adult oxyhemoglobin, de-oxyhemoglobin, carboxyhemoglobin, and methemoglobin. Clinical chemistry, 37(9), pp.1633-1638.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ali Ufuk Yaman

Doğum Yeri: Konya

Doğum Tarihi: 08.02.1988

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise : Meram Anadolu Lisesi (2006)

Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü (2012)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği

Anabilim Dalı: Şubat 2015 – Haziran 2018

Çalıştığı Kurumlar:

Yazılım Geliştirme Mühendisi, Infodif Yazılım Ltd. Şti., 2012 – 2016

Araştırma & Geliştirme Mühendisi, Ekin Teknoloji, 2016 – (Devam etmekte)

Uluslararası Konferans:

Samet, R., **Yaman, A.U.** 2018. An Approach To Improve Remote Photoplethysmography Signal Quality, 6th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2018).