

**AVUÇ İÇİ DAMAR İZİ İLE BİYOMETRİK KİMLİK
DOĞRULAMA ARAYÜZÜNÜN GÖMÜLÜ SİSTEM
ÜZERİNDE TASARLANMASI**

MUSTAFA CÖMERT

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ**

**MERSİN
TEMMUZ – 2015**

Mustafa CÖMERT tarafından Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ danışmanlığında hazırlanan “Avuç İçi Damar İzi ile Biyometrik Kimlik Doğrulama Arayüzünün Gömülü Sistem Üzerinde Tasarlanması” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Yuriy MISHCHENKO

Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ

Yrd. Doç. Dr. Evren DEĞİRMENÇİ

İmza



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14 / 09 / 2015 tarih ve 2015.23 / 856... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Aytaç ÇELİK
Enstitü Müdürü

AVUÇ İÇİ DAMAR İZİ İLE BİYOMETRİK KİMLİK DOĞRULAMA ARAYÜZÜNÜN GÖMÜLÜ SİSTEM ÜZERİNDE TASARLANMASI

Mustafa CÖMERT

ÖZ

Avuç içi damar ağı görüntüsü biyometrik sınıflamaya uygun örüntüler verebilecek bir model olarak kabul edilmektedir. Avuç içi Damar ağı yapısı, eşsizlik bakımından öncel olup, görüntünün alınma yöntemleri, öncel işlemleri, öznelik vektörlerinin çıkarılma metotları, sınıflandırma metotları üzerine çalışmalar yapılan biyometrik bir özelliktir. Yapılan çalışmalar sırasıyla doğruluk başarısı, işlem hızı, taşınabilir platformlara uygunluk ve güvenlik önceliklerinden bir ya da daha fazlasını kapsayacak şekilde yürütülmüştür. Bu tez çalışmasında ise avuç içi damar haritası okuma sensörü ve taşınabilir el ünitesi tasarlanmış ve prototipi üretilmiştir. Bu sistem kullanılarak yaş, cinsiyet bilgileri ve damar izleriyle özgün bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı üzerinde popüler öncel işlemler, öznelik vektörlerini çıkarma ve sınıflandırma metotları denenmiş olup işlem hızlarıyla sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yazılımsal ve donanımsal tüm bileşenler belirli birimler olarak tasarlanmış, yazılımsal ortam dili olarak Python kullanılarak, tüm bileşenler açık kaynak modüller olarak tanımlanmış ve Linux işletim sistemine sahip mini bir bilgisayar ortamı üzerinde çalıştırılmıştır. Çalışma sonunda avuç içi damar yapısının biyometrik sınıflayıcı olarak başarımı ile donanımsal ve yazılımsal güvenli bir arayüz oluşturularak, ürün olarak kullanılmaya uygun bir sistem kurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Avuç içi, Damar ağı, Biyometrik kimlik, Görüntü işleme

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ, Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

DESİGNİNG BIOMETRIC IDENTIFICATION INTERFACE WITH PALM VEIN STRUCTURE ON EMBEDDED SYSTEM

Mustafa CÖMERT

ABSTRACT

Palm vein images are agreeable as a model which may give appropriate patterns to biometric classification. Palm veins that predecessor in point of uniqueness, are a biometric specification, studies work around methods of imaging, preprocessing procedures, methods of taking feature vectors and classification methods. Those studies go through with one or many of priorities which accuracy, processing speed, portability, and security. In this work, vein image capture system hardware had designed and prototype was produced, then with this system, genuine database was created with combining age and gender of test subjects. On this database, popular preprocessing methods, feature vectors taking methods and classification methods were tested and results are compared with speed vs accuracy. All the subsections which used in hardware and software defined as modules. Python has been used as software module programming on SBC (Single Board Computer) with Linux kernel. As a result, appropriate system has been built for both secured software and hardware interfaces with accuracy of biometric classification results of palm vein structure.

Key Words: Palm Vein, Biometric Classification, Biometric Identity, Image Processing

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali YILDIZ, Department of Electrical-Electronics Engineering, Mersin University

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışma sürecimde ve donanım tasarımımda her türlü maddi ve manevi katkıdan ötürü Annem'e teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam esnasında her türlü bilgiyi, desteği ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ'a ve çözümsüz kaldığımı hissettiğimde desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Evren DEĞİRMENCİ'ye ve Yuriy MİSHCHENKO'ya teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
EKLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER	x

1. GİRİŞ	1
-----------------------	----------

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
--------------------------------------	----------

2.1. BİYOMETRİK SİSTEMLER.....	3
--------------------------------	---

2.1.1. Parmak İzi Tanıma	3
--------------------------------	---

2.1.2. Yüz Tanıma.....	4
------------------------	---

2.1.3. İris Tanıma	5
--------------------------	---

2.1.4. Retina Ağı Tanıma	6
--------------------------------	---

2.1.5. Aya İzi Tanıma.....	6
----------------------------	---

2.1.6. Avuç İçi Damar Ağı Tanıma.....	7
---------------------------------------	---

2.2. DAMAR BİYOMETRİSİ	8
------------------------------	---

2.2.1. Görüntüleme.....	8
-------------------------	---

2.2.2. Öznitelik Vektörlerinin Çıkarılması.....	10
---	----

2.2.3. Eşleme	10
---------------------	----

3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
------------------------------------	-----------

3.1. GÖMÜLÜ DONANIM	11
---------------------------	----

3.1.1. Işık Kaynağı	11
---------------------------	----

3.1.1.1. 5mm Alüminyum Galyum Arsenik Işık Yayan Diyotlar	11
---	----

3.1.1.2. Kare Dizgili Işık Yayan Diyotlar	12
---	----

3.1.1.3. Yüksek Güçlü Işık Yayan Diyot	12
--	----

3.1.2. Kamera	13
---------------------	----

3.1.3. Gömülü Bilgisayar	15
--------------------------------	----

3.1.4. Seri Haberleşme Birimi.....	18
------------------------------------	----

3.1.5. Kızılötesi Işık Kaynağı Kontrolü	18
---	----

3.1.6. Hata, İşlem ve Hazır Durum Göstergeleri.....	20
---	----

3.1.7. Güç Kaynağı ve Güç Tüketimi	20
--	----

3.2. GÖMÜLÜ YAZILIM	22
3.2.1. Gömülü İşletim Sistemi	22
3.2.2. Kameradan Görüntü Alma	22
3.2.3. Işık Kaynağı Kontrolü	25
3.2.4. Hata Kontrolü	26
3.2.5. Haberleşme Katmanı	26
3.2.6. Veri Tabanı için Görüntü Paketlenmesi ve Transferi	29
3.2.7. Öncel İşlemler	29
3.2.7.1. Tersini Alma	30
3.2.7.2. Yeniden Boyutlandırma	30
3.2.7.3. Karşıtlığı Yükseltme	30
3.2.8. Öznitelik Vektörlerinin Çıkarılması	35
3.2.8.1. Yerel İkilik Öznitelikleri	35
3.2.8.2. Yön Doğrultularının Histogram Öznitelikleri	36
3.2.9. Öznitelik Verisinin Paketlenmesi ve Transferi	37
3.2.10. Sistem Kapatma	38
3.3. MEKANİK TASARIM	39
3.3.1. Işık Kaynağı Yerleşimi ve Açıları	39
3.3.2. Kamera Yerleşimi ve Odağı	40
3.3.3. Ortalama El Ebatları ve Odağa Göre Yerleşimi	41
3.4. BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ	43
3.4.1. Veri Tabanı Oluşturma	43
3.4.2. Öznitelik Vektörlerinin Karşılaştırılması	44
3.4.2.1. Vektörel Öklid Uzaklığı	44
3.4.2.2. Kosinüs Benzerliği	44
3.4.3. Algoritma Şeması	45
3.4.3.1. Kullanıcı Sistemi Algoritma Şeması	45
3.4.3.2. Gömülü Sistem Algoritma Şeması	46
3.4.4. Performans Analizi	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1. GÖRÜNTÜ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ	50
4.2. KARŞITLIĞI YÜKSELTME	52
4.3. BENZERLİK METOTLARI	55
4.4. SİSTEM PERFORMANSI VE MALİYETİ	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	60

EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ.....	72



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Gömülü Sistem Asgari Gereksinimleri	16
Çizelge 3.2. RaspberryPi ortak özellikler	17
Çizelge 3.3. Güç Tüketimi	21
Çizelge 3.4. Donanımsal Kamera Ayarları	23
Çizelge 3.5. Paket Yapısı	28
Çizelge 3.6. Haberleşme Katmanı Komut Şablonu	28
Çizelge 3.7. Veri Tabanı Test ve Kayıt Bölümlendirilmesi.....	47
Çizelge 3.8. Eşleme ve Geri Çevirme Çizelgesi	47
Çizelge 3.9. ROC Eğrisine Göre Sistem Başarımı.....	49
Çizelge 4.1. Çözünürlüğe Bağlı Sistem Performans Değerleri.....	50
Çizelge 4.2. Önerilen Yöntem ile Adaptif Yerel Histogram E. Karşılaştırması	52
Çizelge 4.3. Sınıflama Ölçütlerinin Karşılaştırması	55
Çizelge 4.4. Gömülü sistem arayüzü donanım bileşenlerinin maliyetleri	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. a) Optik b) Kapasitif c) Ultrasonik Algılayıcı [1].....	3
Şekil 2.2. a) Yüz geometrisi [5] b) Eigenfaces yöntemi [8].....	4
Şekil 2.3. İris için önemli bölge çıkarımı [9]	5
Şekil 2.4. Retina Görüntüsü [11]	6
Şekil 2.5. Aya İzi Tanıma [13].....	7
Şekil 2.6. a) Görünür Işık Altındaki Görüntü b) Kızılötesi Işık Altındaki Görüntü c) Öncel İşlemler Sonucu Oluşan Görüntü [17]	8
Şekil 2.7. a) Yansıtma Yöntemi b) İçinden Geçirme Yöntemi [16]	9
Şekil 3.1. GaAlAs Işık Yayan Diyot.....	11
Şekil 3.2. a) Işık Yayan Diyotların Baskı Devresi b) Kare Dizgili Işık Yayan Diyot.....	12
Şekil 3.3. a-) Powerlux b-) LZ1-10R602 c-) LZ1-40R608.....	13
Şekil 3.4. Kızılötesi Engelleyici Filtrenin Konumu	14
Şekil 3.5. a) Ismart b) C270 c) Raspi Noir.....	15
Şekil 3.6. RaspberryPi-Model B genel görünüş.....	18
Şekil 3.7. Akım Sınırlayıcı Gerilim Regülatör Şeması.....	19
Şekil 3.8. Gömülü Bilgisayar Kontrolü.....	20
Şekil 3.9. Orijinal Görüntü ve Histogram Eşitleme Sonrası	31
Şekil 3.10. Orijinal görüntü ve karşıtlık limitlemeli histogram eşitleme çıktısı	33
Şekil 3.11. Orijinal Görüntü ve Önerilen Yöntem Çıktısı	34
Şekil 3.12. a-b) Farklı zamanlarda alınan kadına ait sağ avuç içi damar izi c-d) Farklı zamanlarda alınan erkeğe ait sağ avuç içi damar izi	34
Şekil 3.13. Yerel İkili Öznitelik Çıkarımı.....	36
Şekil 3.14. Kısmi türevin açısına göre numaralandırılması	37
Şekil 3.15. Açıya bağlı yayım yoğunluğu grafiği	39
Şekil 3.16. İki kaynak arası minimum mesafe ölçüğü	40
Şekil 3.17. Kamera ve ışık kaynaklarının yerleşimi	41
Şekil 3.18. Ortalama El Ölçüleri	42
Şekil 3.19. Bilgisayar Arayüzü	43
Şekil 3.20. Kullanıcı Sistemi Algoritma Şeması.....	45
Şekil 3.21. Gömülü Sistem Algoritma Şeması	46
Şekil 4.1. Çözünürlüğe Bağlı ROC Eğrileri.....	51
Şekil 4.2. Önerilen Yöntem ve Adaptif Histogram Eşitleme ROC eğrileri.....	53
Şekil 4.3. Kosinüs Benzerliği ve Minimum Öklid Uzaklığı Sınıflandırmaları.....	56

EKLER DİZİNİ

Sayfa

Ek-1. Çözünürlüğe Bağlı Eşik Değerlerinin Belirlenmesinde Kullanılan Sistem Çıktıları	65
---	----



KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	Anlamı	Birimi
SBC	Single Board	
CCD	Charge Coupled Device	
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter	
SPI	Serial Peripheral Interface	
USB	Universal Serial Bus	
ARM	Acorn RISC Machine architecture	
SSH	Secure Shell	
IP	Internet Protocol Address	
AWB	Auto White Balance	
CRC	Cyclic Redundancy Check	
XOR	Exclusive OR Gate	
CDF	Cumulative Distribution Function	
TPR	True Positive Rate	
FPR	False Positive Rate	
ROC	Receiver Operating Characteristics	
ACC	Accuracy	
SENS	Sensitivity	
SPEC	Specificity	
TP	True Positive	

FN	False Negative
FP	False Positive
TN	True Negative
AUC	Area Under Curve
LBP	Local Binary Pattern
HOG	Histogram of Oriented Gradients
TTL	Transistor-Transistor Logic
TH	Threshold

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında gizlilik ve güvenlik büyük önem taşıyan konular haline gelmiştir. Bu sebeple kimlik doğrulama ve tanımlama sistemleri hiç olmadığı kadar ihtiyaç duyulan öğeler olmuştur. Güvenlik sistemlerinde hızla gelişen alanlardan biri olan biyometrik sistemler doğrulama ve tanımlama başarılarındaki yüksek güçleri ile uzun vadeli çözümler sunmaktadır.

Biyometri kelimesi zaman içerisinde, Yunanca ‘bio’ (yaşam) ve ‘metric’ (ölçüm) kelimelerinin birleşimiyle oluşmuştur. Biyometri davranışsal ve fizyolojik dallarda biyolojik ölçümlerin tümünü kapsamaktadır.

Biyometrik kimlikler, insanların genetik yapısına bağlı olan ve eşsiz özelliklerini akıllı makinelerle tanıtılmasını sağlayan kimlik kartlarıdır. Bu kimlikler üzerlerinde bir hafıza birimi bulundurmakta olup ilk yüklemde biyometrik sensörlerden gelen işlenmiş vektörleri veya modelleri bu hafıza biriminde saklarlar. Daha sonra bu veri her kullanıcı girişinde tekrar tekrar okutularak makineye gönderilir ve sensörlerden gelen veri ile karşılaştırılıp kimlik doğrulama onaylanır veya reddedilir.

Günümüzde biyometrik kimlikler yavaş yavaş nüfus cüzdanlarımıza tümleşik hale gelmektedir. Bu sayede şifrelerimizi unutma ve kaybetme gibi sorunlarımızın önüne geçmektedir. Bununla beraber hüviyet bilgilerimiz, ikamet bilgilerimiz, banka ve ceza kayıtlarımız, hatta tüm özel uygulama şifrelerimizi de hatırlamak zorunda da kalmayacağız.

Güvenlik gerektiren tüm bilgiler merkez dağıtıcıda toplanacak olup, bu veriler şifrelenmiş olarak saklanacaktır. Biyometrik kimlik ve sensörlerden gelen kimlik verisi belirli bir eşlenme düzeyine eriştiği takdirde bu veriyi temsilen merkez makine ile kullanıcı makinesi arasında güvenli bağlantı oluşturulur ve kullanıcı şifresi aktarılır. Aktarılan bu anahtarla kullanıcı verisi tekrar çözümlenerek gönderilir ve döngü tamamlanmış olur.

Herhangi bir vücut bileşenimizin biyometrik öznelik taşıyabilmesi için, başta eşsizlik olmak üzere, aktarılma hızı, kopyalamaya karşı güvenilirliği ve sistem maliyeti gibi bileşenlerine bakılır.

Geçmişten bu güne kadar biyometrik öznelikleri taşıdığı anlaşılmış ve üzerinde çalışılmış yapılar şu şekildedir; yüz geometrisi, parmak izi, aya izi, iris, retina ağ tabakası görüntüsü, parmak damar ağ görüntüsü ve gün geçtikçe popülerleşen avuç içi damar ağ görüntüsü. Üzerinde her uygulama yapılmaya başlanan yapı, doğrulama sistemlerini eşsizlik bakımından bir öncekinden daha başarılı sonuçlara götürmüştür.

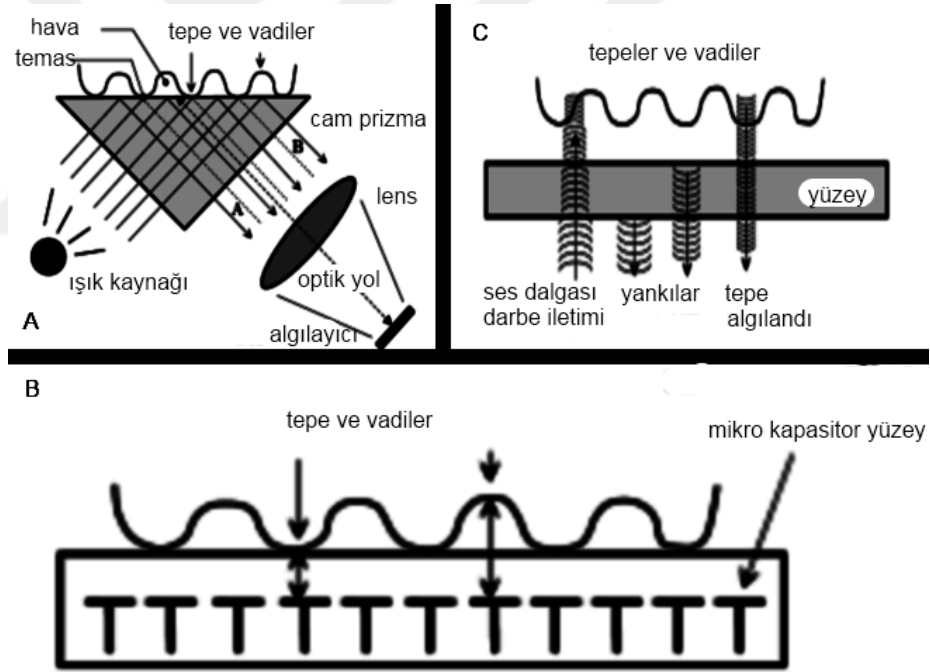
Bu çalışmada avuç içi damar yapısını görüntüleyebilecek düzeyde bir donanım tasarlanmış olup, bu donanım ile oluşturulan özgün veri tabanı ile sıklıkla kullanılan önemli bölge çıkarımı, histogram eşitleme, eşikleme (thresholding) ve inceltme (skeletonization) gibi öncel işlemler, öznelik vektörleri çıkarma gibi metotların başarısı test edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. BİYOMETRİK SİSTEMLER

2.1.1. Parmak İzi Tanıma

En eski ve günümüzde en yaygın kullanılan sistemdir. Parmak izi tanıma sistemleri biyometrik sistem özelliklerinden eşsizliği ile günümüze kadar uzanmıştır [1]. Tek yumurta ikizlerinde dahi parmak izlerinin farklı oluşu eşsizliğin genetik bağımsızlığını simgeler niteliktedir [2]. Parmak izleri vadi ve tepelerden oluşan sıralı çizgilerin oluşturduğu bir yapıya sahiptir. Algılayıcı sistemler; Şekil 2.1-a'da optik algılayıcı, Şekil 2.1-b'de kapasitif algılayıcı veya Şekil 2.1-c'de ultrasonik algılayıcı hücreler aracılığı ile vadi ve tepeleri sayısal 1 ve 0'lara dönüştürür ve bu veriler bir matrise aktarılır.



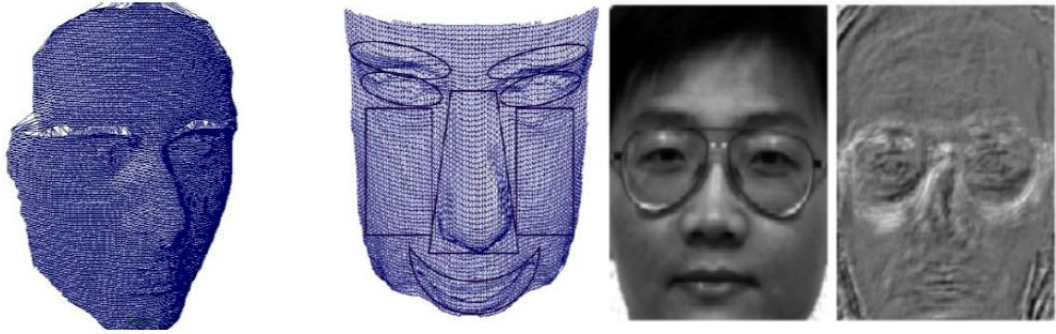
Şekil 2.1. a) Optik b) Kapasitif c) Ultrasonik Algılayıcı [1]

Parmak izi tarama ve doğrulama sistemleri, parmak izi okuma başarımlarını yeni algılayıcılar ile arttırmış ve günümüz yaşamında adli soruşturma ve kimliklemenin ötesinde mobil yaşamımıza ayak uydurmuştur. Eşsizlik ve kolay örneklenebilir olması bu sistemlerin en büyük avantajı olmuştur. Ancak parmak

izininin rahat kopyalanabilir oluşu, çeşitli deri hastalıklarının deri yüzeyine etkisi ve çevresel etkiler sonucu parmak izinin tahribatı bu sistemlerde donanımın ötesinde bir güvenlik sorunu yaratmaya başlamıştır. Parmak izi veri tabanlarında yapılan parmak izi ile kimlik doğrulama üzerine yapılan son çalışmalarda %2 oranında hatalı tespit görülmüştür [3].

2.1.2. Yüz Tanıma

İnsanların birbirlerini nitelerken isimleriyle beraber yüzlerinin özelliklerini de hafızaya almaları yüz tanımanın insanlık tarihi ile eşdeğer yaşta olduğunu gösteriyor. Yüz tanıma sistemleri genel olarak ikiye ayrılmaktadır. İlki, yüz geometrisi üzerine kurulmuştur. Şekil 2.2-a'daki gibi ağız, burun, göz çukur boyutları ve uzaklıklarını öznitelik vektörü olarak kullanır [4] [5]. İkincisi ise yüzü parçalara bölüp ayırt etmede daha önemli parçalar olduğunu gösteren Şekil 2.2-b'deki Eigenfaces [6] / Fisherfaces [7] gibi yöntemlerdir [8].



Şekil 2.2. a) Yüz geometrisi [5] b) Eigenfaces yöntemi [8]

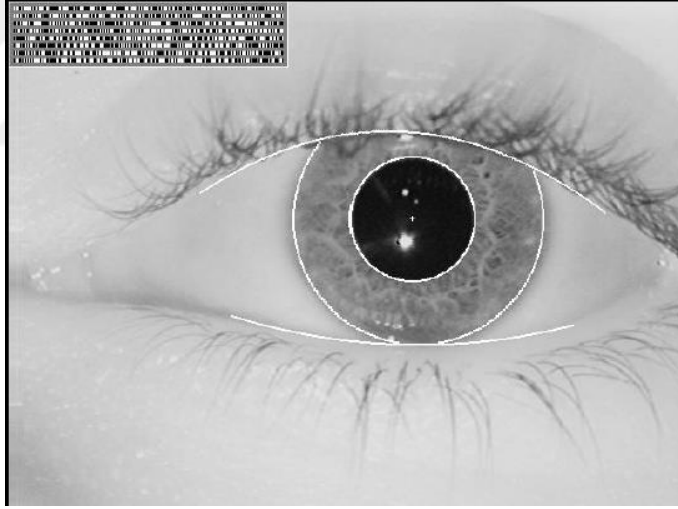
Yüz tanıma sistemlerinin çalışmasını ve güvenilirliğini etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlardan sisteme özgü sorunlar;

- Kamera bakış açısı.
- Parlaklık, karşıtlık değişimleri,
- Birden fazla yüz arasından ön tanımlı yüzü bulmadır.

Bunların yanı sıra hastalık, gözlük, lens, saç, sakal, yüz estetik operasyonları ve ağır makyaj gibi etmenlerin yüzde yarattığı değişimler sistemin kimlik doğrulama oranını düşürmektedir.

2.1.3. İris Tanıma

İris tanıma sistemleri, göze renkli bölümü veren göz kaslarının oluşturduğu bölümün geometrisini ve şeklini modelleyerek sınıflandırmaya dayanır. Asgari Hamming uzaklığıyla iris tanıma üzerine yapılmış bir çalışmada eşik değeri teorik olarak hesaplanarak yanlış eşleme olasılığı 4 milyonda 1 olarak bulunmuştur [9]. İris Şekil 2.3'deki gibi tanımlı arka plandan ayrıldıktan sonra dalgacık geri dönüşümleri ile öznitelikleri çıkarılır ve Hamming uzaklık hesabı ile öznitelik vektörleri arasındaki asgari uzaklıkları hesaplanır. Birbiri arasında belirli bir eşik düzeyinin altında uzaklığa sahip 2 öznitelik vektörü benzerdir ve bu benzerlik irislerin aynı kişiye ait olduğunu gösterir.

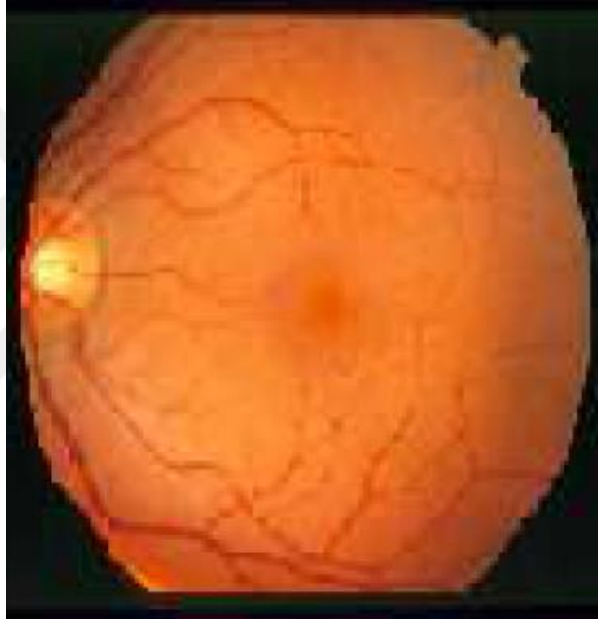


Şekil 2.3. İris için önemli bölge çıkarımı [9]

İris tanıma sistemlerinin donanımsal ve yazılımsal olarak kısıtlayıcı limitleri görünmemektedir. Lakin temassız olsa da sistem limitli bir çalışma uzaklığına sahip olup lens kullanımı ve aydınlatmaya duyarlıdır [10].

2.1.4. Retina Ağı Tanıma

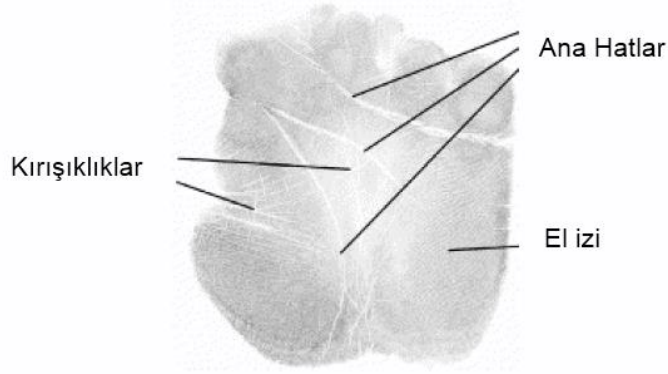
Retina görüntüleme işlemi Şekil 2.4'teki gibi bir tür damar ağı görüntüleme yöntemidir [11]. Görünür ışık altında iris arkasında kaldığından ötürü bu damar ağını görüntülemek için iris arkası aydınlatılarak görüntülenmektedir. Sistem maliyetleri yüksek, retinanın biyolojik sorunlara karşı hassas oluşu sebebiyle günlük hayatta yaygın olarak kullanılamamaktadır. Retina ağının eşsizliği ve dışarıdan müdahalesiz gözlemlenememesi sistem güvenilirliğini yükselterek yanlış tanıma oranını 0'a çok yaklaştırmıştır. Ancak bazı hastalıklar neticesinde retina görüntüsünde oluşan değişimler sistemin doğru tanıma oranını ters orantılı etkilemiştir.



Şekil 2.4. Retina Görüntüsü [11]

2.1.5. Aya İzi Tanıma

İnsanların parmak izleri yeterli çözünürlüğe sahip veri içermemesi nedeniyle avuç içi izine yoğunlaşmıştır. Aya izi çözünürlük bakımından el izinden daha çok veriye sahip olmakla beraber eşsizlik ölçeği parmak iziyle aynıdır. 2015 yılına ait Canny kenar bulma metodunu geliştirilerek geliştirilen uygulama ile doğruluk oranı %99,3'e yükseltilmiştir [12].



Şekil 2.5. Aya İzi Tanıma [13]

Aya izi tanıma sistemlerinde çözünürlüğün yüksek oluşu beraberinde sistem doğruluk ve sınıflandırma oranını yükseltse de sistemler üzerinde hız ve maliyet gibi problemleri beraberinde getirdiğinden, sistem üzerinde el geometrisi gibi öznitelikleri de sınıflama işlemlerine eklenmeye başlanmıştır [13].

Aya izi tanıma sistemleri donanımsal olarak güvenlik, eşsizlik gibi problemlere takılmamaktadır. Ancak, el izinin de parmak izi gibi kopyalanabilir oluşu çevresel güvenlik tehdit olasılıklarını gündeme getirmektedir.

2.1.6. Avuç İçi Damar Ağı Tanıma

Damar ağı tanıma sistemleri retina ve parmaktan sonra avuç içine yoğunlaşarak kimlik doğrulama başarısını daha yüksek seviyeye çıkarmaktadır [14]. Biyolojik faktörlerin retina üzerindeki olumsuz etkileri retina tanıma sistemlerinin doğru algılama başarısını olumsuz yönde etkilerken, parmak damar tanıma sistemlerinde ise yeterli çözünürlük elde edilmemesi sonucu kimlikleme konusunda avuç içi damar ağı tercih edilmiştir.

Avuç içi damar ağı tanıma sistemleri günümüzde bankalar ve hastanelerde biyometrik kimlikleyici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler avuç içi damar yapısını görüntüledikten sonra öznitelik vektörlerini birim bilgisayarına aktarır ve avuç içi damar ağına ait herhangi bir görüntü bilgisayara aktarılmadan silinir. Birim bilgisayarı bu vektörü veri tabanındaki diğer vektörlerle karşılaştırır ve kimlik bilgisini arayüze aktarır.

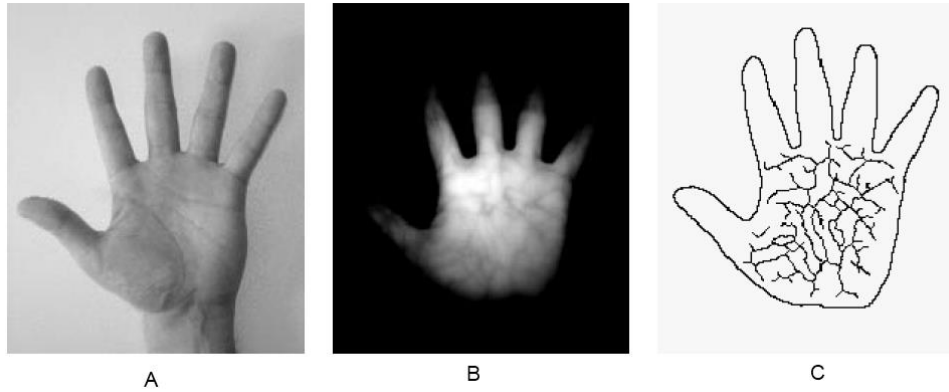
2.2. DAMAR BİYOMETRİSİ

2.2.1. Görüntüleme

İnsan derisi altındaki damarlar görünür ışık altında tam anlamıyla seçilememektedir. Damarlarımızda bulunan hemoglobinler 760 - 1100 nm dalga boyuna sahip ışığı neredeyse tam olarak soğururlar [15]. Bu dalga boyu aralığındaki ışık aynı zamanda yakın kızılötesi ışık tayfı içerisindedir.

Yakın kızılötesi ışık kaynağı oluşturmada ışık yayan diyotlar (LED) kullanılır. Yapılan çalışmalarda, 760nm dalga boyuna sahip ışığın oksijenden arınmış hemoglobinler tarafından, 800nm'den daha büyük dalga boylarının oksijen taşıyan hemoglobinler tarafından daha çok soğurulduğu gözlemlenmiştir [16]. 850nm dalga boyu altında karışıklık seviyesi yüksek görüntüler elde edilebilmektedir [16].

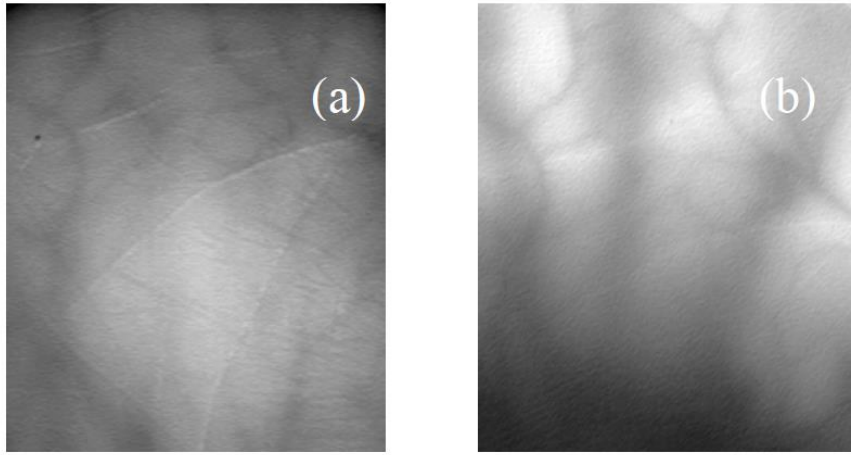
850nm dalga boyuna sahip ışık kaynağı ile avuç içi görüntülendiğinde damarların siyaha doğru karardığı, geri kalan dokuların ışığı soğurmadığından dolayı açık renklere yaklaştığı görülmektedir. Görünür ışık altında eli görüntülediğimizde seçilemeyen damarlar Şekil 2.6-a'daki gibi, yakın kızılötesi tayfı altında karararak Şekil 2.6-b'deki gibi seçilebilir hale gelir ve öncel işlemler sonucu damarlar çevresindeki dokulardan ayrılarak Şekil 2.6-c'deki görüntü elde edilebilir [17].



Şekil 2.6. a) Görünür Işık Altındaki Görüntü b) Kızılötesi Işık Altındaki Görüntü c) Öncel İşlemler Sonucu Oluşan Görüntü [17]

Işık yayan diyotlar ışık kaynağı olarak kullanıldığında yayabildikleri güç ile doğru orantılı olarak cilt yüzeyinin yaklaşık 3 mm altına nüfuz edebildiği gözlemlenmiştir [15]. Başka araştırmalarda ise ışık kaynağı gücüne bağlı olarak yansıtma Şekil 2.7-a [16] ve içinden geçirme Şekil 2.7-b yöntemleri denenmiştir [18].

Yansıtma yöntemi elin altından gönderilen ışığın görüntüsünün yine elin altından yakalanmasıyla elde edilir. İçinden geçirme yönteminde ise ışık kaynağı elin üzerine yerleştirilir, görüntü ise alttan yakalanır. Yansıtma yönteminde sadece elin alt tarafının aydınlatılması yeterlidir. Cildin hemen altındaki damarlar alınan görüntüde kararmalara sebep olacaktır. Cildin hemen üzerinden yansıyan ışıklar istenmeyen el izi görüntüsünü de beraberinde getirir. Daha az ışık radyasyonu bu görüntüleme için yeterlidir. İçinden geçirme yönteminde ise yukarıdan gönderilen ışığın elin içerisinden geçmesi beklendiği için yüksek radyasyona ihtiyaç vardır. Bu metotta el izi görüntüsü oluşmaz. Ancak kemik gibi sert dokular alınan görüntüde istenmeyen kararmalar yaratır. Yapılan çalışmalarda daha az radyasyon yaydığı ve karşıtlığı daha dengeli olduğu için yansıtma yöntemi tercih edilmektedir.



Şekil 2.7. a) Yansıtma Yöntemi b) İçinden Geçirme Yöntemi [16]

Avuç içi damar ağına ait görüntüyü algılamada kamera algılayıcıları kullanılmaktadır. Bu algılayıcılar kırmızı ışığın dalga boyundan daha büyük olan kızılötesi ışığa karşı da duyarlıdır. Daha önce yapılan çalışmalarda kızılötesi dalga boyuna duyarlılığıyla ön plana çıkmış Takena System NC300AIR (570x480 hücre

çözünürlüğünde saniyenin 10000'de 1'ine kadar perde hızına sahip) [19], JAI CV-M50 IR (752x582 hücre çözünürlüğünde saniyenin 10000'de 1'ine kadar perde hızına sahip) [20], Hitachi KP-F2A (500x485 hücre çözünürlüğünde saniyenin 10000'de 1'ine kadar perde hızına sahip) [21] kameralar kullanılmıştır. Bu kameraların günümüz internet kameraları veya taşınabilir telefonların kameralarından en büyük farkı kızılötesi engelleme filtrelerinin bulunmamasıdır.

2.2.2. Öznitelik Vektörlerinin Çıkarılması

Öznitelik vektörleri çıkarılırken iki farklı metot izlenmiştir. Birincisi damar ağı görüntüsünün karşıtlığını artırma / normalizasyon (histogram eşitleme [22]), eşik değeri ile damarların ayrılması [23] ve sonrasında inceltilerek [24] damar ağı yapısının geometrik özniteliklerini çıkarmaya dayanır. İkinci metot ise öncel işlemler çok kullanılmadan geleneksel şablon öznitelikleri çıkarılır. Bunlar dalgacık dönüşümleri, Gabor filtresi veya dönüşümü [25] ve kosinüs dönüşümüdür [26]. Her iki öznitelik çıkarmaya dayalı metotla yapılan eşlemelerde başarımler %95'in üstündedir.

2.2.3. Eşleme

Damar görüntülerinden çıkarılan özniteliklerin eşlenmesi üzerine birçok yöntem kullanılmıştır. Her ne kadar yöntem başarımlerini diğer istatistiksel çalışmalardaki gibi öznitelik vektörlerinin çıkarılması belirlemiş olsa da çoğunlukla korelasyon ve benzerleri kullanılmıştır [27, 28, 29].

Öznitelik çıkarmada, yüksek verimlilik, diğer çalışmalarda ise hız ön planda tutularak eşleme denenmiştir. Bu tür çalışmalarda eğitim algoritmaları kullanılmadan vektörel uzaklık hesaplama metotlarıyla sonuca gidilmiştir [27].

Literatürde çok yer almasa da yapay sinir ağları [28], olasılıksal yapay sinir ağları [29] ile sınıflama çalışmaları avuç içi damar tanıma üzerine denenmiştir ve bu çalışmada 75 kişiye ait 300 kayıtlı veri tabanı ile %84 doğrulama başarısı elde edilmiştir [29].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Avuç içi damarların görüntüsü yakın kızılötesi tayfı ile görüntüledikten sonra güvenlik açısından resim kaydedilmeyecek sadece öznitelik vektörleri kullanıcı bilgisayarına gönderilecektir. Bunu sağlayabilmek için öznitelik vektörleri çıkarılmaya kadarki süreç gömülü bilgisayar ve onun yan bileşenlerinde tamamlanacaktır. Son adım olarak bu veri kullanıcı bilgisayarına gönderilecek ve eşleme işlemi orada gerçekleşecektir.

3.1. GÖMÜLÜ DONANIM

3.1.1. Işık Kaynağı

Bu çalışmada avuç içi damar haritası görüntüsü yansıtma metodu ile elde edilmiştir. Bu metot için ışık olarak yakın kızılötesi tayfını yayan diyot türlerinden aşağıdakiler sırayla denenmiştir.

3.1.1.1. 5mm Alüminyum Galyum Arsenik Işık Yayan Diyotlar

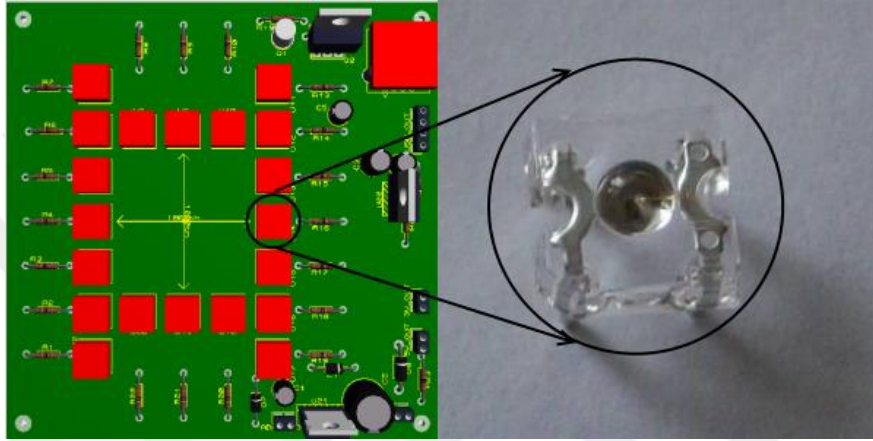
Alüminyum Galyum Arsenik (GaAlAs) ışık yayan diyotlar, Şekil 3.1'deki gibi, televizyon, klima, ısıtıcı gibi akıllı makinelerin uzaktan kumandalarında verici olarak görev yapan diyotlardır. Genellikle 950 nm dalga boyunda 50-150 mW güce sahip ışığı üreticiden üreticiye değişiklik göstermekle beraber +/- 25 derece ile yayarlar. Ateşlenme voltajları 1.4-1.6 Volt arasında olup darbeli modülasyonla çalıştırılmadığında 50 mA'lık maksimum akımla kullanılmaktadırlar. Tasarlanan devrede 10 adet GaAlAs ışık yayan diyot 5 Volt ile evrensel seri yolu (USB) üzerinden beslenerek denenmiştir. Işık yayan diyotların üzerinden geçen akımı sınırlamak için 100 Ohm'luk dirençler kullanılmıştır.



Şekil 3.1. GaAlAs Işık Yayan Diyot

3.1.1.2. Kare Dizgili Işık Yayan Diyotlar

Kare baskı devre dizgili ışık yayan diyotlar klasik GaAlAs ışık yayan diyotlara göre 5 kat daha fazla güçle ışık yaymaktadır. Everlight firmasına ait Şekil 3.2-b'deki HIR30-01C/S16 kodlu ürün 850 nm dalga boyunda %1'den küçük genişlikteki darbe modülasyonu ile 4.1 V potansiyel fark ve 1 A akımla çalışarak 700 mW ışık gücü üretir. Çalışma için baskılı devre tasarlanmıştır ve bu ışık yayan diyotlardan 20 adedi ile kaynak üretilmiştir Şekil 3.2-a.



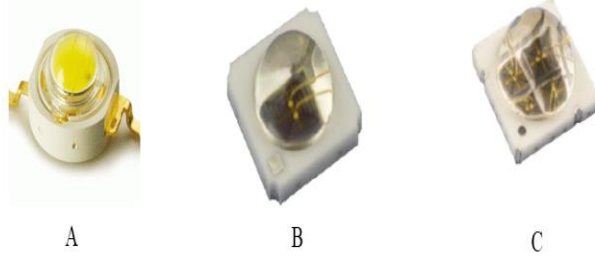
Şekil 3.2. a) Işık Yayan Diyotların Baskı Devresi b) Kare Dizgili Işık Yayan Diyot

3.1.1.3. Yüksek Güçlü Işık Yayan Diyot

Yüksek güçlü ışık yayan diyotlar 2000'li yıllardan bu yana yaygınlaşmakta olup günümüzde 405 nm'lik alana bir hücre sığdırılarak cm^2 'ye 300 W gibi yüksek güçlere ulaşmaktadır. Birçok dalga boyunda çalışan diyot bulmak mümkündür. Bu ışık yayan diyotların en büyük kullanım sıkıntısı zaman içerisinde ısınarak gösterdiği iç direncinin düşmesi, daha çok akım çekerek daha çok ısınması ve bu kısır döngünün sonucunda bozulmasıdır. Akım sabitleyiciler kullanılarak bu problem engellenebilir.

Powerlux firmasına ait yüksek güçlü ışık yayan diyotları Şekil 3.3-a test aşamasında 4 adedi seri bağlanarak soğutucu baskılı devreler ile bağlanmıştır. Bu diyotlar 1.8-2.4 V aralığında 700 mA sabit akım altında 110 derece ile 850 nm dalga boyunda ışık yaymaktadır.

Ledengin firmasına ait yüksek güçlü ışık yayan diyotlar tek bir paket içerisinde birden fazla diyot hücresi barındırarak daha yüksek güçlere çıkmaktadır Şekil 3.3-c. Sipariş verilen 2 tür ürün test edildi. Soğutuculu baskı devreleri fabrika çıkışlı olarak temin edilmiştir. Bu baskılı devre kartları 2'den fazla bağlantıya sahiptir. Bir paket içerisindeki lensin altına birden fazla diyot sıkıştırılabilmektedir. Diyot hücrelerinin bağlantıları seri, paralel veya başka bağlanma şekilleri için açık bırakılmıştır. LZ4-40R608 kodlu ürün en az 835 nm en çok 875 nm dalga boyunda ışık yaymaktadır. Dar bantta ışık yayması kamera üzerindeki filtre gereksinimini ortadan kaldıracaktır. En çok 8.5 W güç harcayarak 3.2 W ışık radyasyonu 4 hücre ile sağlamaktadır. Darbe modülasyonu kullanılmadığından testlerde bu değerlere ulaşılmamıştır. Hücreler seri bağlandığında diyotların ileri voltajları sabit 700 mA akım üzerinde minimum 10.8 V'tur ve 110 derece ile ışık yaymaktadır. Aynı firmanın test edilen ikinci ürünü LZ1-10R602 önceki ürünün tek hücrelisidir Şekil 3.3-b. Diyotunun ileri voltajı sabit 1000mA akım üzerinde 2.7 V'tur.

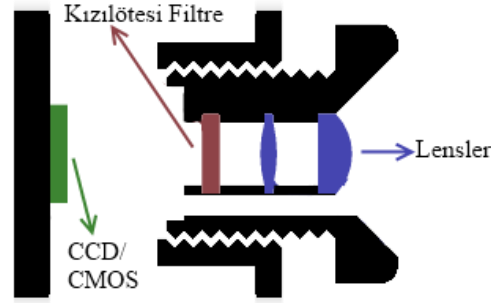


Şekil 3.3. a-) Powerlux b-) LZ1-10R602 c-) LZ1-40R608

3.1.2. Kamera

Yakın kızılötesi ışık tayfı gözle görünebilir olmasa da CCD ya da CMOS kamera algılayıcıları tarafından algılanabilmektedir. Ancak günümüz telefon, el ve internet kameralarında kullanılan algılayıcının kızılötesi ışığı algılamayı engelleyen kızılötesi engelleyici filtreleri bulunmaktadır Şekil 3.4. Bu tarz kameralarla algılama gerçekleştirebilmek için kızılötesi engelleyici filtreleri sökülmelidir. Görünür ışık tayfı karşılığı çok etkiliyorsa bu filtrenin yerine kızılötesi geçirgen filtreler

kullanılmalıdır. Kızılötesi geçirgen filtre olarak ilk çalışmalarda negatif film kâğıdı kullanılmıştır. Ancak görüntüyü bulanıklaştırmış ve görünür ışık tayfını tam anlamıyla kesememiştir.



Bir kameranın dikey kesitinin yandan görünümü

Şekil 3.4. Kızılötesi Engelleyici Filtrenin Konumu

Çalışmamızda 3 farklı kamera algılayıcısı test edilmiştir. İlk test edilen kamera ISMART firmasına ait internet kamerasıdır Şekil 3.5-a. Kameranın kızılötesi engelleyici filtresi çıkarılarak algılayıcısı duyarlı hale getirilmiştir. Bilgisayar sürücüsü ile 640x480 piksel çözünürlükte işlenmemiş veriyi Opencv arayüzü ile verebilmektedir. Ancak bu kameranın otomatik kazanç iptal edilememektedir. Bu da karşılık seviyesinin istenilen seviyeye getirilmesini engellemekte ve damarlar işlenemeyecek kadar silik görünmektedir.

İkinci olarak Logitech firmasına ait C270 ürünü Şekil 3.5-b kızılötesi engelleyici filtresi çıkarılarak test edilmiştir. Bu kamera algılayıcısının hem otomatik kazanç donanımı çok daha iyi çalışmakta hem de yüksek çözünürlükte görüntü verebilmektedir. Opencv arayüzü üzerinden de kazanç değiştirilebilmektedir.

Son olarak bilgisayar üzerindeki testler sonucunda gömülü platformlara uygun OmniVision firmasına ait OV5647 kamera algılayıcısı bulunan RaspberryPi kamerası test edilmiştir Şekil 3.5-c. Kamera hazır seçenekleri arasında NOIR başlığı altında kızılötesi engelleyici filtresi olmadan da üretilmektedir. Bu algılayıcı standart internet kameralarından ayrı olarak el ile ayarlamaya uygun donanımsal özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden çalışmaya uygunluğu açısından bazıları;

- Keskinlik,
- Karşıtlık,
- Parlaklık,
- ISO,
- Sıkıştırılmamış resim çıktısı

gibi sıralanabilir.



Şekil 3.5. a) Ismart b) C270 c) Raspi Noir

OV5647 algılayıcısı ile yapılan çalışmalarda 2592x1944 piksel çözünürlük elde edilebilmiştir. Harici lens kullanmadan 10cm +/- 2 cm uzaklıktan önemli bölgeye odaklanabilmektedir.

3.1.3. Gömülü Bilgisayar

Biyometrik kimlikleme sistemlerinde algılayıcıların doğrudan kullanıcı bilgisayarlara bağlanması algılanan örüntünün kopyalanabilme tehdidini ortaya çıkaracaktır. Bu sebeple örüntünün öncel ve öznitelik çıkarma işlem adımları gömülü bir bilgisayar üzerinde yapılmalıdır ve örüntüye ait anlamlı bilginin dışarı çıkmasına engel olunmalıdır.

Bu işlemleri yürütebilmek için gömülü bilgisayarın herkese açık olmayacak şekilde bir programlama arayüzüne sahip olması, kullanıcı bilgisayarı ile arasında doğrudan bağlantı arayüzüne sahip olması, algılayıcıdan gelen veriyi işleyebilecek

donanıma sahip olması ve güç, ışık kaynağı kontrolü için doğrudan giriş/çıkış arayüzüne sahip olması gerekir.

Çalışmada tercih edilecek gömülü bilgisayarda olması gereken minimum özellikler ve çalışmadaki önemi Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Gömülü Sistem Asgari Gereksinimleri

İşlemci	Minimum ARM 11 250 MHZ	Gömülü Bilgisayarın İşletim Sistemini masaüstü arayüzü olmadan çalıştırabilmelidir. İşlemci frekansı arttıkça öncel işlem ve öznitelik vektörlerini hesaplama süresi düşeceğinden tercih sebebi olmalıdır.
Ekran Kartı	Opsiyonel	Herhangi bir grafik arayüzüne ihtiyaç duyulmamaktadır.
Rastgele Erişimli Bellek	Minimum 256 MB	Gömülü Bilgisayarın İşletim Sistemini masaüstü arayüzü olmadan çalıştırabilmelidir.
Evrensel Seri Yolu	Opsiyonel	Evrensel Seri Yolu aygıt olarak kullanabilme desteği arabirimlerin azalmasını sağlayacaktır. Ancak ek arabirim ile UART, SPI gibi dönüştürücülerle bu ihtiyaç giderilebilir.
Video Girişi	Kameraya uygun seri çiftlenmiş arayüze ihtiyaç vardır.	Çalışmada evrensel seri yollu kamera yerine gömülü kamera kullanılacağından seri çiftlenmiş arayüz ihtiyacı vardır.
Video Çıkışı	Opsiyonel	Gerek duyulmamaktadır.
Ses Çıkışı	Opsiyonel	Gerek duyulmamaktadır.
Gömülü Bellek	Minimum 1GB	İşletim sistemi ve ana programın kaydedileceği minimum 1 GB alana ihtiyaç duyulmaktadır.

Alt Birim Arayüzleri	5 genel girdi çıktı biti, Seri haberleşme	Hata Göstergesi, Hazır Göstergesi, İşlem Göstergesi için toplam 3, Kızılötesi Işık kaynağı kontrolü ve güç kontrolü için toplam 2 bit genel girdi çıktı biti, kullanıcı bilgisayarına aktarım arayüzü için seri haberleşme donanımı gerekmektedir.
Güç Tüketimi	Opsiyonel	Güç tüketimi düşürüldükçe ürünleştirme açısından USB3 uyumluluğu düşünülebilir.

Yazılım ve donanımsal arayüzleri karşılayan günümüzdeki tek baskılı devreye sığdırılmış bilgisayarlardan biri RaspberryPi adlı bilgisayarlardır. Bu bilgisayarlar, kullanım için bazı farklı modellerle sunulsa da hepsinde ortak olarak bulunan özellikler Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. RaspberryPi ortak özellikler

İşlemci	ARM11
Ekran Kartı	Broadcom VideoCore IV
Rastgele Erişimli Bellek	256-1024 MB
Evrensel Seri Yolu	1-4
Video Girişi	Kamera Girişi
Video Çıkışı	Yüksek çözünürlüklü çoklu ortam arayüzü, kompozit analog video
Ses Çıkışı	Destekleniyor
Gömülü Bellek	Hafıza Kartı
Alt Birim Arayüzleri	8 bit genel girdi çıktı, 3 farklı seri haberleşme desteği
Güç Tüketimi	200-800 mA

Çalışmada öncelikle geliştirmeye uygunluğu açısından video çıkışı, ağ arabirimi, evrensel seri yolu arabirimi olan B modeli seçilmiştir Şekil 3.6. Bu model

üzerinde 700 MHz ARM11 ve grafik işlemcisi, 512 MB rastgele erişimli bellek desteği, ağ arabirimi, 2 adet evrensel seri yolu desteği, yüksek çözünürlüklü çoklu ortam arayüzü desteği bulunmaktadır [30].



Şekil 3.6. RaspberryPi-Model B genel görünüş

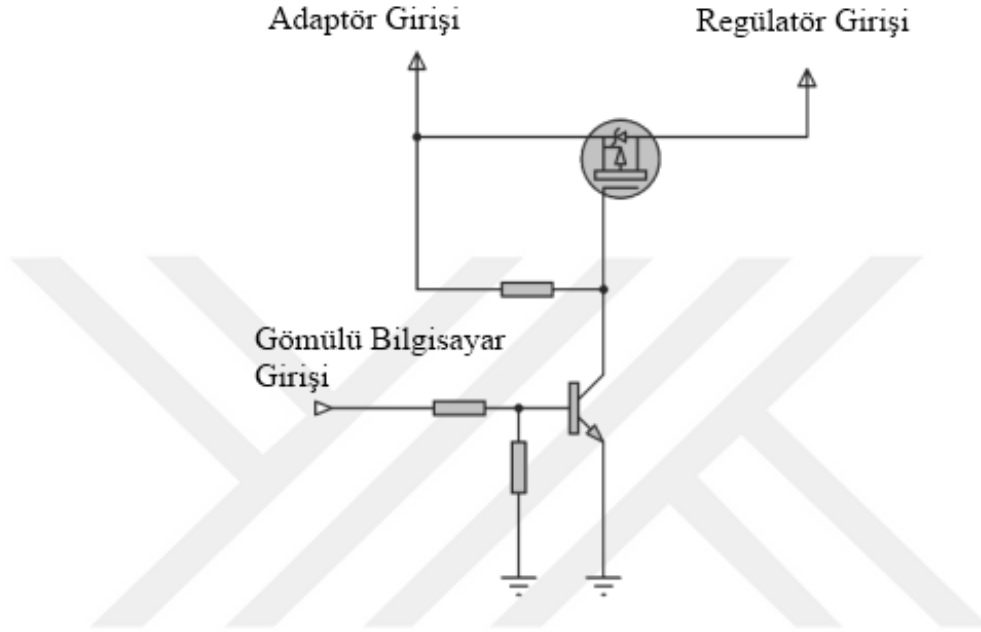
3.1.4. Seri Haberleşme Birimi

Çalışmada kullanılan gömülü bilgisayarın evrensel seri yolu desteği aygıt olarak kullanıma açık olmadığından kullanıcı bilgisayarı ile haberleşme arayüzü olarak asenkron seri haberleşme arayüzü kullanıldı. Bu haberleşme arayüzünü tekrar evrensel seri yolu olarak tanımlayabilmek için donanımsal destek olarak Future Technology Devices firmasının üretmiş olduğu FT232R adlı ürün kullanıldı. Bu ürün 300 bit/saniye-3 Milyon bit/saniye hızlarında ki asenkron seri haberleşmeyi evrensel seri yolu arayüzüne aktarabilmektedir. Gömülü bilgisayar tarafından karşılanabilecek azami asenkron seri haberleşme hızı 250 Kbits/s olduğundan hız limitlerine negatif yönde bir etkisi olmamıştır.

3.1.5. Kızılötesi Işık Kaynağı Kontrolü

Kızıl ötesi ışık kaynağı olan ışık yayan diyotlar gömülü bilgisayarın destekleyebileceğinden çok daha fazla güç gereksinimi duymaktadır. Her bir ışık yayan diyot minimum 200 mA akıma karşılık 2.7 V potansiyel fark altında

Gerilim regülatörü üzerindeki geri besleme bacağı hem akım hem de gerilim ayarı için kullanıldığından alan etkili transistor devrenin girişine bağlanarak tetiklenmeli (trigger) ve yüksek akım kapasitesine sahip olmalıdır. Bu çalışma için gömülü bilgisayar tarafından kontrol edilecek alan etkili P tipi transistor devresi tasarlanmıştır Şekil 3.8.



Şekil 3.8. Gömülü Bilgisayar Kontrolü

3.1.6. Hata, İşlem ve Hazır Durum Göstergeleri

Hata, işlem ve hazır durumlarının rahatça kullanıcı tarafından algılanabilmesi için gösterge olarak ışık yayan 5mm çaplı diyotlar kullanılmıştır. Bu diyotlar az güç gereksinimi ile çalışabildiğinden gömülü bilgisayarın giriş/çıkış bacaklarından rahatlıkla beslenebilir. Akım sınırlama dirençleri aracılığıyla seri olarak bağlanmıştır.

3.1.7. Güç Kaynağı ve Güç Tüketimi

Tüm sistemin donanımları göz önünde bulundurulduğunda Çizelge 3.3'teki güç tüketimleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.3. Güç Tüketimi

Donanım Bileşeni	Akım Sarfiyatı	Potansiyel Fark Gereksinimi	Güç Sarfiyatı
Gömülü Bilgisayar	0.700 A	5.0 V	3.500 W
Kamera	Gömülü Bilgisayar Dahili	Gömülü Bilgisayar Dahili	Gömülü Bilgisayar Dahili
Kızılötesi Işık Kaynağı	0.200 A	10.8 V	2.160 W
Seri Haberleşme Dönüştürücü	0.025 A	5.0 V	0.125 W
Hata, İşlem ve Hazır Göstergeleri	0.060 A	3.3V	0.198 W
Toplam	--	--	5.983 W

Çizelge 3.3'teki tüketim değerlerini karşılamak üzere şebeke elektriği üzerinden çalışabilecek asgari 12V 500mA çıkışlı bir adaptör ihtiyacı doğmuştur. Çalışma süresince Toshiba firmasının üretmiş olduğu 15V 5A verebilecek kapasitede adaptör kullanılmıştır. Adaptör çıkışı 15V olduğu için gömülü bilgisayarı çalıştırmak için kızılötesi ışık kaynağında kullanılan regülatörün aynısı 5V'a ayarlanarak eklenmiştir.

3.2. GÖMÜLÜ YAZILIM

3.2.1. Gömülü İşletim Sistemi

Ana programın üzerinde çalışacağı gömülü işletim sistemi olarak RaspberryPi vakfının desteklediği Linux/Debian benzeri Rasbian işletim sistemi kullanılmıştır. Ancak bu işletim sistemi tam anlamıyla bir masaüstü işletim sistemi olduğundan birçok kullanılmayan servis ve uygulama kapatılarak işlem kapasitesi, disk kapasitesi artırılarak açılış hızlandırılmıştır.

Ana program çalışmalarında Python 2.7 kullanılacak şekilde gerekli paketler yüklenmiştir. Matlab benzeri matris işlemleri için Numpy, görüntü işleme algoritmaları için Scikit-Image, test ve karşılaştırma için OpenCV 2.49 sürümü eklenmiştir. Bu modüllerin hepsi hazır olarak bulunmadığı için derleme işlemleri ve paketler açılarak ortam üzerinde yapılmıştır.

Derleme işlemleri sırasında masaüstü arayüzü kullanılmadığından bilgisayarla bağlantı işlemi şifreli grafik ağ protokolü (SSH-Secure Shell) aracılığıyla Ethernet ağından yararlanılarak sağlanmıştır. Gömülü bilgisayara sabit internet adresi (IP) verilerek kullanıcı bilgisayarı ile arasında yerel ağ oluşturulmuştur. Bilgisayar tarafında geliştirme aşamasında Linux benzeri işletim sistemi Ubuntu üzerinde şifreli grafik ağ protokolü istemcisi yüklenerek protokole konsol üzerinden bağlanılmıştır.

Gömülü bilgisayar açılış dosyasına sabit internet adresi yapılandırma, seri iletişim arayüzü yapılandırma ve kamera yapılandırma kodları eklendikten sonra ana program açılış yönetici olarak yapılmıştır.

3.2.2. Kameradan Görüntü Alma

RaspiCam algılayıcısını gömülü bilgisayar üzerinden kullanabilmek için OpenCV, Raspistill ve Picamera uygulama programlama arayüzleri birer birer test edilmiştir. Bu arayüzler sadece algılayıcı üzerinden resim almanın yanı sıra desteklerine göre algılayıcının donanımsal özelliklerine erişim sağlamaktadır.

Testler sonucunda uygulama programlama arayüzü olarak Picamera kullanılmıştır. Picamera algılayıcının tüm donanımsal ayarlarına istem dâhilinde

erişim sağlamakla beraber sıkıştırılmamış veya istenilen formatta kodlanmış resim, video veya dizi resim şeklinde verebilmektedir. Bunun ötesinde, bu işlemler görüntü işlemcisi üzerinde yapılarak ana program için ayrılan işlem gücü harcanmamaktadır.

Kamera donanımsal ayarları uygulama katmanı arayüzünde projeye uygun hale getirilmesi için bazı ayarlar değiştirilmelidir. Bu ayarların geneli Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Donanımsal Kamera Ayarları

ISO	Algılayıcının ışığa duyarlılığını açıklar	100 ile 800 arası el ile ayarlanabilir. 0 yazıldığından donanımsal olarak otomatik ayarlanır.
Meter_mode	Algılayıcı ortamdaki ışığa bakarak pozlama süresine karar verebilir. Algılayıcı çerçevesinin neresinden ölçüm alınacağı seçilebilir.	'average' : Çerçevdeki hücrelerin ortalaması alınır. 'spot' : Çerçevenin orta noktasının ortalaması alınır. 'backlit' : Görüntülenecek yüzey arkadan aydınlatılacaktır. 'matrix' : Işık profillerine göre karşılaştırma yaparak pozlama süresini tahmin eder.
Resolution	Algılayıcı donanımsal çözünürlük ayarı	Algılayıcının donanımsal çözünürlüğü ayarlanabilir. Çözünürlük azaltılarak daha yüksek hızda çekimler alınabilir.
Sharpness	Algılayıcının donanımsal keskinlik ayarı	-100 ile +100 arasında değiştirilebilir. 0 ise orijinal değeridir.
Shutter_speed	Algılayıcının perde açıklık süresidir. Mikro saniye cinsinden ifade edilir.	0 ayarlandığında otomatik olarak kestirim yapılır. 33333 mikro saniye ile limitlenmiştir.

Awb_gains	Algılayıcının donanımsal beyaz kazancı ayarı	1.0 ile 8.0 arasında bir değer verilerek beyaz kazancı ayarlanabilir. Beyaz kazancı ayarlanabilmesi için otomatik dengeleme kapatılmalıdır.
Awb_mode	Algılayıcının donanımsal otomatik beyaz kazancı ayarı	Algılayıcının çekim yapacağı ortama göre beyaz kazancını otomatik olarak veya ortam bilgisi kazancı hesaplamasına destek ayarı seçilebilecek ayarlar; 'off' : El ile ayarlama için 'auto' : Donanımsal ayarlama için 'sunlight' : Gün ışığı beyaz dengesi 'cloudy' : Bulutlu hava beyaz dengesi 'shade' : Gölge ortam beyaz dengesi 'tungsten' : Sarı aydınlatılmış ortam beyaz dengesi 'fluorescent' : Beyaz aydınlatılmış ortam beyaz dengesi 'incandescent' : Akkor aydınlatılmış ortam beyaz dengesi 'flash' : Flaşlı çekim beyaz dengesi 'horizon' : Ufuk çekimi beyaz dengesi
Brightness	Algılayıcının donanımsal parlaklık ayarı	İkili değişken dizisi ile donanımsal parlaklık değerini ayarlar. Bu değişkenler (128,128) olarak ayarlanırsa algılayıcı siyah-beyaz görüntü aktarır.
Contrast	Algılayıcının donanımsal karşıtlık ayarı	-100 ile +100 arasında el ile değiştirilebilir. Orijinal değeri 0'dır.

Exposure_mode, Exposure_speed, Framerate, Effects ve diğerleri	Algılayıcı donanımsal arayüzünde pozlama analog ve sayısal kazançları dâhil tüm ayarları açmaktadır. Video ayarları ve ekran kartı üzerinde gerçekleştirilebilecek görüntü algoritmaları bulunmaktadır.	
---	---	--

Kamera donanımsal ayarları çalışmamızda alınan görüntü kalitesini doğrudan etkilemektedir. Işığa duyarlılık ayarı düştükçe gürültü azalmaktadır. Çalışmada en iyi sonuç veren 100'e ayarlanmıştır. Işık ölçüm yöntemi için merkez nokta ayarlanmıştır. Avuç içi görüntüsü alınırken kenarlardan ışık alınamadığından siyah olarak algılanan noktaların hesaba katılması istenmemektedir. Çözünürlük hem hızı hem de hassasiyeti ilgilendirmektedir. Test aşamaları için 320x240 piksel olarak ayarlanmıştır. Donanımsal beyaz kazancının otomatik olarak çalışması görüntüdeki karaltıların otomatik olarak giderilmesi demektir ki istenmeyen bir durumdur. Damarlar avuç içerisindeki karaltılar olarak gözlemlenmektedir. Bu sebeple kazanç 1.0'a düşürülmüştür. Perde açıklık süresi karışıklık ve parlaklık ayarları donanımsal otomatik olarak hesaplanması için bırakılmıştır.

Algılayıcı tarafından çekilen avuç içi damar görüntüsü güvenlik açısından bellekte kalmaması için tampon bellek oluşturularak içerisine kaydedilip öncel işlemler yapıldıktan sonra tampon bellek özel komutlar kullanılarak silinmiştir.

3.2.3. Işık Kaynağı Kontrolü

Şimdiye kadarki çalışmalarda 850 nm dalga boyundaki kızılötesi ışınların doğrudan retina kılcallarına ancak yüksek güçte ve sürede uygulandığında insan sağlığı üzerinde bir etkisinin olduğu gösterilmiştir [31]. Kızılötesi ışık kaynağı sistem süresince açık kalabilir ancak hem güç sarfiyatı hem de soğutma gereksinimi

düşünüldüğünde ihtiyaç olduğu süre içerisinde açılması daha mantıklı görülmektedir. Çalışmamızda donanımsal ayarladığımız kızılötesi ışık kaynağının düzenleyicisinin kontrolü, gömülü bilgisayar üzerindeki bir giriş/çıkış bitinden kontrol edilebilmektedir. Algılayıcı ile görüntüyü çekmeden belirli bir süre önce ışık kaynağı açılarak fotoğraf makinelerinin flaşları gibi görüntü alındıktan sonra kapatılmaktadır. Çalışmamızda bu kontrolü sağlamak için gömülü bilgisayarın içerisinde bulunan giriş/çıkış bitlerini kontrol etmemizi sağlayan uygulama arayüzüne, ana program üzerinden erişilerek bacak yapısı ve kontrol fonksiyonları aktarılmıştır.

3.2.4. Hata Kontrolü

Çalıştırılan ana programa dışarıdan hiçbir erişimin olmaması, programda bir sorun meydana geldiğinde donanım kontrolünü askıda bırakmaktadır. Bununla ilgili uyarıcı görsel arayüzler hazırlanmış olsa da sistemi yeniden başlatmak, elektriğini kesip yeniden bağlamak hem zamansal anlamda hem de hafıza birimlerine zarar tehlikesiyle karşı karşıya kalmak demektir. Çalışmamızda hata kontrolü ile baş etmek konusunda iki yöntem tasarlanmıştır. Programın doğurduğu donanımsal aksaklıklar (göstergeleri güncelleyememe, ışık kaynağını açık unutma gibi) için kullanıcı arayüzüne kontrol butonları eklenmiştir. Her hangi bir hata durumunda programın baştan başlatılması için sistem servisi olarak yazılması bir yöntem olsa da işlem uzun ve yorucu olmasından dolayı bu çalışmada sonsuz bir döngüde yazılmış, hata kontrollü, yeniden başlatma rutini bir çözüm olarak uygulanmış ve başarılı sonuç elde edilmiştir.

3.2.5. Haberleşme Katmanı

Gömülü bilgisayar ile kullanıcı bilgisayarı arasındaki tüm iletişim, haberleşme katmanında gerçekleşmektedir. Bu katmanın donanımsal desteği gömülü bilgisayar tarafında tampon bellek desteği ile asenkron seri iletişim, kullanıcı bilgisayarı tarafında ise evrensel seri yolu ile sağlanmaktadır.

Haberleşme katmanı oluşturulurken gömülü bilgisayarın desteklediği azami bant hızı seçilerek transfer süresi düşürülebilmektedir. Gömülü bilgisayar altındaki asenkron seri haberleşmeyi tanımlamak ve başlatmak için yönetici haklarıyla

donanıma erişim sağlanmaktadır. Sınıf yapısıyla hazırlanmış uygulama katmanı arayüzü ile hız, bit sayısı, bitiş işaretleri ayarlanmaktadır.

Donanımsal desteğimizin hızı 115.2 kbit/s olduğundan çalışmamızda bu hız seçilmiştir. Kullanıcı bilgisayarı tarafında da rahat yazımı açısından veri biti sayısı 8 sonlandırma biti 1 ve eşlik biti kullanılmadan genel yapıda bırakılmıştır. Bu çalışma hızıyla 320x240 piksel hücre çözünürlüklü bir matrisin, her bir hücrenin birer bayt (siyah-beyaz) olduğu düşünüldüğünde teorik asgari gönderim süresi gönderim sırasındaki veri kaybının tekrar gönderimini içermeden 5.33 saniye olacaktır. Bu süre Eşitlik 3.1'den yararlanılarak hesaplanır.

$$\text{Asgari Gönderim Süresi (saniye)} = \frac{\text{Gönderilecek Veri (bit)}}{\text{Gönderim Hızı } \left(\frac{\text{bit}}{\text{saniye}}\right)} \quad (3.1)$$

Transfer sırasında donanımsal ve yazılımsal nedenlerden ötürü veri kaybı yaşanabilir. Bu kayıpların donanımsal tarafta en aza indirilebilmesi için tampon bellekler, zaman aşımı gibi sistemin bu durumdan asgari düzeyde etkilenmesini sağlayacak yöntemler uygulanır. Gönderilen veriyi parçalara bölüp karşı tarafla kontrollü iletişimin sağlanması da transfer süresini uzatacağından çalışmamızda asenkron iletişim tercih edilmiştir. Zaman aşımı, test süresince uzun tutulmuştur. Verinin gönderimi tamamlandığında doğruluğunu kontrol etmek için bit temel kontrol algoritmalarından çevrimsel fazlalık denetimi sonucu gönderim paketlerinin sonuna 32 bit olarak eklenmiştir (CRC32). Bu kontrolün doğruluğuna göre gelen paketin doğru bir şekilde donanımdan geçip geçmediği anlaşılmaktadır.

Çevrimsel fazlalık denetimi hesabı ikilik tabanda bölme işlemine benzerlik gösterir. Önceden belirlenmiş bir anahtar bölücü sayısı ile doğrulanmak istenen veri bölünerek kalana bakılır. Kalan sayı ifadesi bu bölümün doğruluğunu temsil eder. Anahtar bölücünün temsil ettiği bit sayısı kadar doğruluk güvenilirliğine erişilir. Çevrimsel fazlalık denetiminde de benzer olarak bölme işlemi çok işlem gücü gerektirdiğinden “Dışlamalı ya da” (XOR) işlemi kullanılır. İşlem bölme işlemi gibi bölünen sola kaydırılarak (veya bölen sağa kaydırılarak) her döngüde XOR işlemiyle sonunda kalanı bırakır. Günümüz Ethernet standartlarında çevrimsel fazlalık denetimi hesabında 16 bit veya 32 bit boyundaki anahtar bölücüler kullanılır. Bu

bölücüler aynı zamanda 2'lik tabanda dağılabildiğinden bölen polinom olarak ifade edilir. 32 bit boyutundaki standart kabul edilen bölücü polinom $2^{32} + 2^{26} + 2^{23} + 2^{22} + 2^{16} + 2^{12} + 2^{11} + 2^{10} + 2^8 + 2^7 + 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 + 2^0$ şeklinde X25 standardı ile adlandırılır.

Donanımsal hız ve doğrulama tanımlamalarından sonra gürültü ve istenmeyen erişimlere karşı haberleşme sırasında başlangıç ve/veya bitiş imgeleri kullanılmaktadır. Çalışmamızda paket yapısı tasarlanırken başlangıç baytı kullanılmıştır.

Haberleşme katmanımızın paket yapısı başlangıç baytı, program komutu, veri ve veri uzunsa doğrulama paketinden oluşmaktadır Çizelge 3.5.

Çizelge 3.5. Paket Yapısı

Başlangıç (1 bayt)	Komut (2 bayt)	Veri (Boyutu Komuta Bağlı)	Doğrulama (4 Bayt) - Veri Boyutuna bağlı olarak gerekmez
-----------------------	-------------------	-------------------------------	---

Katman içerisinde kullanılacak komutlar için 2 bayt 65536 farklı komut alanı ayrılmıştır. Kullanılacak komutlar için ayrılan bu bölüme genelleme amaçlı İngilizce karşılıklarındaki sessiz harflerinden yararlanılmıştır. İstemci ve dağıtıcı modelinde de ana döngüler paket uzunluklarını bu komutlardan algılamaktadır. Komutlar Çizelge 3.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.6. Haberleşme Katmanı Komut Şablonu

Başlangıç	Komut	Veri	Doğrulama	Açıklama
"A"	"PI"	0 bayt	0 bayt	Veri tabanı için görüntü isteği
"A"	"PI"	76800 bayt	4 bayt	320x240 boyutundaki siyah beyaz görüntü veri tabanı için kullanıldı.
"A"	"TF"	0 bayt	0 bayt	Öznitelik vektörleri isteği
"A"	"TF"	3600+900 bayt	4 bayt	64x64 piksel boyutundaki

Başlangıç	Komut	Veri	Doğrulama	Açıklama
				siyah beyaz görüntünün öznelik vektörleri
“A”	“SH”	0 bayt	0 bayt	Gömülü bilgisayar kapatma
“A”	“RE”	0 bayt	0 bayt	Gömülü bilgisayar yeniden başlatma
“A”	“LE”	0 bayt	0 bayt	Göstergeleri sıfırlama ve kızılötesi kaynağı kapatma

3.2.6. Veri Tabanı için Görüntü Paketlenmesi ve Transferi

Avuç içi damar görüntülerinin veri tabanı haline getirilmesi için öncelikle gömülü bilgisayar ile bilgisayar arasında seri iletişim katmanından geçirilmesi gerekmektedir. Bu katmanda iletişim bayt bazlı olduğundan iki boyutlu bir matrisle ifade edilen resmin seri hale dönüştürülmesi gerekir. Düşük seviyeli programlayıcılarda iç içe “While” veya “For” döngüleri kullanılarak yapılan bu işlem Matlab gibi ileri seviye programlarda sadece matrisin şeklini değiştir komutlarıyla yapılabilmektedir. Çalışmamızda ana program dilimiz Python için ise Numpy programlama arayüzü kullanılarak Matlab içerisindeki temel birçok fonksiyon kullanılabilir hale gelmiştir. Bunun aracılığıyla iki boyutlu matris tek boyutlu bir dizi haline getirilmiş sonrasında dizi hücreleri 8 bitlik yapıya normalize edilerek her biri birer bayt olan hücreler elde edilmiştir.

3.2.7. Öncel İşlemler

Avuç içi damarların görüntülenmesinde kızılötesi ışık kaynağı kullanımıyla elde edilen görüntülerde damarlar, karşıtlığı yüksek olmayan karaltılar olarak çevredeki diğer yumuşak dokudan ayrılır. Damar ağı haritası sistemin özneliklerini oluşturan yapı olarak kullanılacaksa alınan görüntü karşıtlığı yükseltme, gürültü azaltma ve iskeletleştirme aşamalarından geçirilmektedir.

Sistem tanıma sürecinde hıza da öncelik veren çalışmalarda eşikleme (thresholding) ve iskeletleştirme (skeletonization) aşamaları olmadan (damar ağı

görüntüsü doku arka planından ayrılmadan) öznelik çıkarma metotları uygulanmıştır. Özellikle de iskeletleştirme aşamasının işlem maliyeti yüksektir.

Çalışmamızda görüntü alma, öncel işlemler (yerel ortalama adaptasyonu, histogram eşitleme, normalizasyon) ve öznelik vektörlerinin hesaplanması adımları gömülü bilgisayar üzerinde yapılacağından işlem maliyeti mümkün olduğunca düşük tutulmaktadır.

Gömülü donanım öncesi çalışmaları için bosphorus veri tabanında çalışılmıştır [32].

3.2.7.1. Tersini Alma

Avuç içi damar algılama sistemlerinde alınan görüntü içerisinde, damar izleri siyaha yakın aya yumuşak dokusu ise daha açık renk değerlerini almaktadır. Limitleme fonksiyonlarını ve inceltme fonksiyonlarının yazım tarzları genel olarak büyük değerlerden kestirim aldıkları için alınan görüntünün tersinin alınması işlem kolaylığı sağlamaktadır. Bu sayede damar izleri beyaza yakın aya dokusu koyu olarak gözlemlenecektir. Alınan hücre değer tipinin maksimum değerinden özgün değerinin çıkarılmasıyla ters değeri elde edilmiş olur. Mikroişlemci üzerinde işlem hızı açısından ikilik sistemde ‘NOT’ (Değil) işlemi aynı eşitliğe denk gelmektedir.

3.2.7.2. Yeniden Boyutlandırma

Kameradan alınan 320x240 piksel boyutunda ki görüntüler hem işlem maliyeti bakımından hem de gürültü bakımından öznelik vektörlerini çıkarmak açısından elverişsizdir. Alınan görüntüler test aşamaları için 24x24, 32x32, 64x64 ve 128x128 piksel şeklinde küçültülerek yeniden boyutlandırılmaktadır.

3.2.7.3. Karşıtlığı Yükseltme

Avuç içi görüntülerinde karşıtlığı yükseltme en temel olarak histogram eşitleme yani hücre değerlerin sıklığa göre normalizasyonu ile gerçekleştirilir. Siyah beyaz bir görüntüde x görüntünün kendisi, i her hangi bir hücrenin aldığı değer, n toplam hücre sayısı, n_i değerini ise bu değerlerin sıklığı şeklinde ele alırsak, bir hücre değerinin görüntü içerisinde bulunma olasılığını;

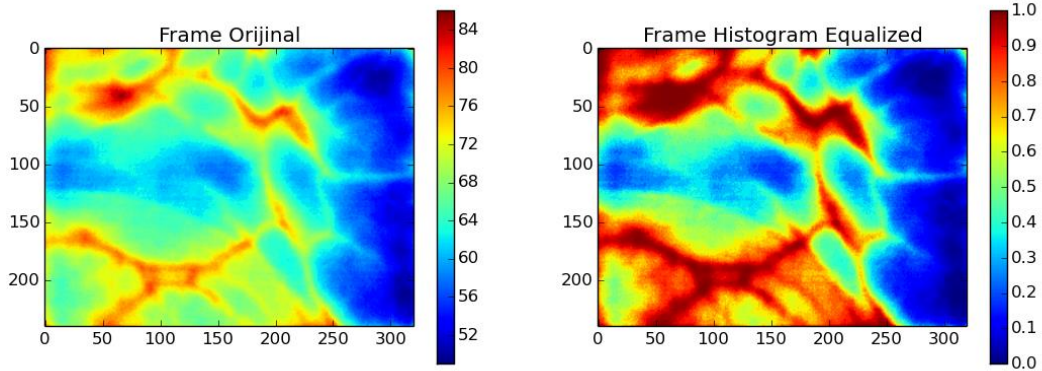
$$p_x(i) = n_i/n \quad (3.2)$$

ile ifade edebiliriz. Bu olasılık değeri aslında histogram değerlerinin 0-1 aralığına normalize edilmiş değeridir. Bu değerleri birikimli dağılım fonksiyonunda (bdf, Cumulative Distribution Function) kullanırsak;

$$bdf_x(i) = \sum_{j=0}^i p_x(j) \quad (3.3)$$

fonksiyonun çıktısı bize dağıtılmış histogramı verir. Bu değerler görüntüyü tekrar oluşturmak için tekrar normalize edilip yerine yazılır. Normalize etmek için ise bu değerlerin birikimli dağılım fonksiyonunun minimum değeri arasındaki farkın toplam hücre sayısı arasındaki farka oranı hücrenin alması istenen azami değer ile çarpılır ve histogram eşitlenmiş yeni görüntü değerleri elde edilir Şekil3.9.

$$\text{yeni } i \text{ değeri} = \frac{bdf_x(i) - \min(bdf)}{n - \min(bdf)} * \text{maks}(i) \quad (3.4)$$



Şekil 3.9. Orijinal Görüntü ve Histogram Eşitleme Sonrası

Histogram eşitleme hesabında bir görüntünün tüm hücrelerinin değerleri fonksiyona girer. Ancak çekim açısı ışık kaynağının özdeş dağıtılamaması sebebiyle görüntülenen yüzeyde istenmeyen parlaklık farkları meydana gelir. Bu parlaklık farkları gözle görünür bir fark yaratmasa da histogram eşitleme sonucunda karışıklık büyüdüğü için istenmeyen değerlere ulaşır. Bunun önüne geçebilmek için uyarlamalı histogram eşitleme uygulanır. Uyarlamalı histogram eşitleme, görüntü matrisini el ile belirlenen hücrelere bölerek her blok içerisinde yerel histogram eşitler. Bu tarz yaklaşımlarda ışık kaynağının konumu ve açısının önemi kalmadan yerel azami ve

asgari değerler belirlenmiş olur. Ancak bu yöntem sonucunda bölünen hücreler arasında istenmeyen gürültüler ve karşıtlık dengesizlikleri sebebiyle kesikler oluşabilir.

Karşıtlık limitli uyarlamalı histogram eşitleme, yerel histogramlar eşitlendikten sonra olası gürültü ve karşıtlık dengesizliklerini ortadan kaldırmak için bölgeler arasında yatay ve dikey ara değer kestirimi ile karşıtlığın azami limitlerini bölgelere dağıtır.

Bir görüntü üzerindeki hücrenin olasılık yoğunluk olasılığına bağlı eşitlemeye göre değişimi, g yeni hücre değeri, g_{maks} ve g_{min} yerel maksimum ve minimum değerlerini ifade edecek olursa,

$$g = [g_{maks} - g_{min}] * P(f) + g_{min} \quad (3.5)$$

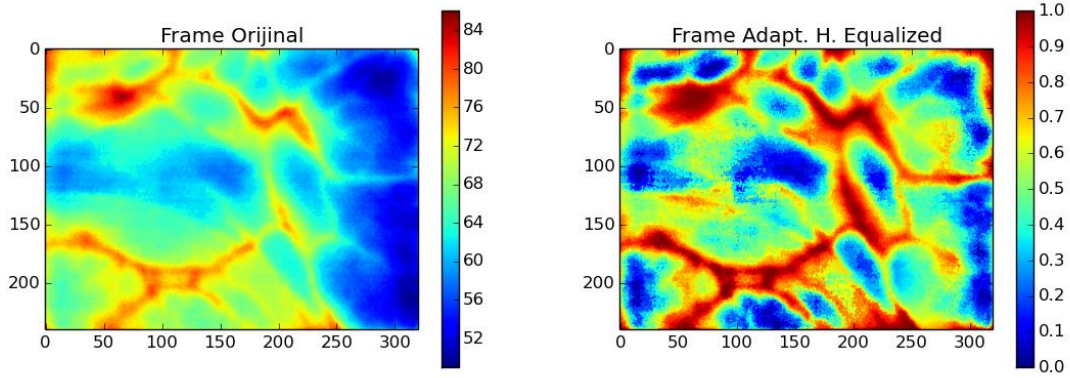
denklemiyle uyarlamalı histogram eşitleme ifade edilir.

Karşıtlık limitleme kesme katsayısına bağlı karşıtlık sınırını logaritmik şekilde kırpar. Bunu sağlamak için,

$$g = g_{min} - \frac{1}{a} * \ln(1 - P(f)) \quad (3.6)$$

ifadesindeki a sabitiyle kesme katsayısı ayarlanır. Orijinal resim ve karşıtlık uyarlamalı histogram eşitleme çıktısı Şekil 3.10'da gözlenebilir.

Çalışmamızda bir görüntü için yerel eşitlenecek hücre çözünürlüğü çözünürlük 2x2 seçilmiştir.



Şekil 3.10. Orijinal görüntü ve karşıtlık limitlemeli histogram eşitleme çıktısı

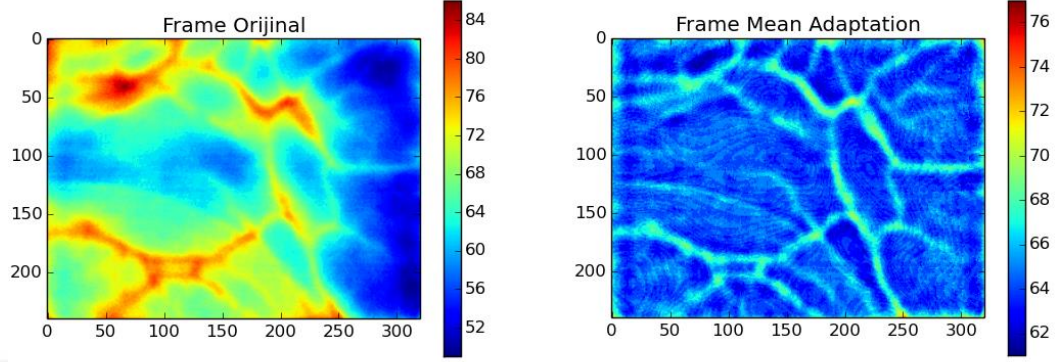
Çalışmamızda karşıtlığı yükseltme algoritmaları yerine yerel ortalama adaptasyonu için yeni bir yöntem kullanılmıştır. Uyarlamalı histogram eşitleme algoritma çeşitlerinde olduğu gibi görüntü yerel bloklara ayrılmıştır. Ancak bu bloklar üzerinde histogram eşitleme yapmak burada istenmeyen arka plan değerlerinde yüksek artış veya azalmaya sebep olmaktadır. Örneğin görüntülenen avuç içindeki yükseltmeler ve ışığın homojen bir şekilde dağılmaması damar olmayan bölgelerde yapılan eşitleme sonucu damar üzerindeki değerleri ortaya çıkarmaktadır.

Uyarlamalı ortalama eşitleme işleminde arka planın damarlardan büyük ölçüde ayrılmaktadır Şekil 3.11. Uygulanan yeni yöntem, belirlenmiş bir yerel blok içerisindeki merkez noktanın değerini genel ortalama ile yerel ortalama oranı ile çarpılıp yeniden yazılmasıyla elde edilir. Matematiksel olarak ifade edilecek olursa I görüntü matrisinin i, j koordinatlarını, I_{ort} görüntünün genel, n ise hücrenin sapma içerisindeki yerel komşu sayısı olarak alınırsa,

$$I_{yeni}(i, j) = I_{eski}(i, j) * \frac{I_{ort} * n}{\left(\sum_{k=i}^{i+2*sapma} \sum_{l=j}^{j+2*sapma} I_{eski}(k, l) \right) - I_{eski}(i, j)} \quad (3.7)$$

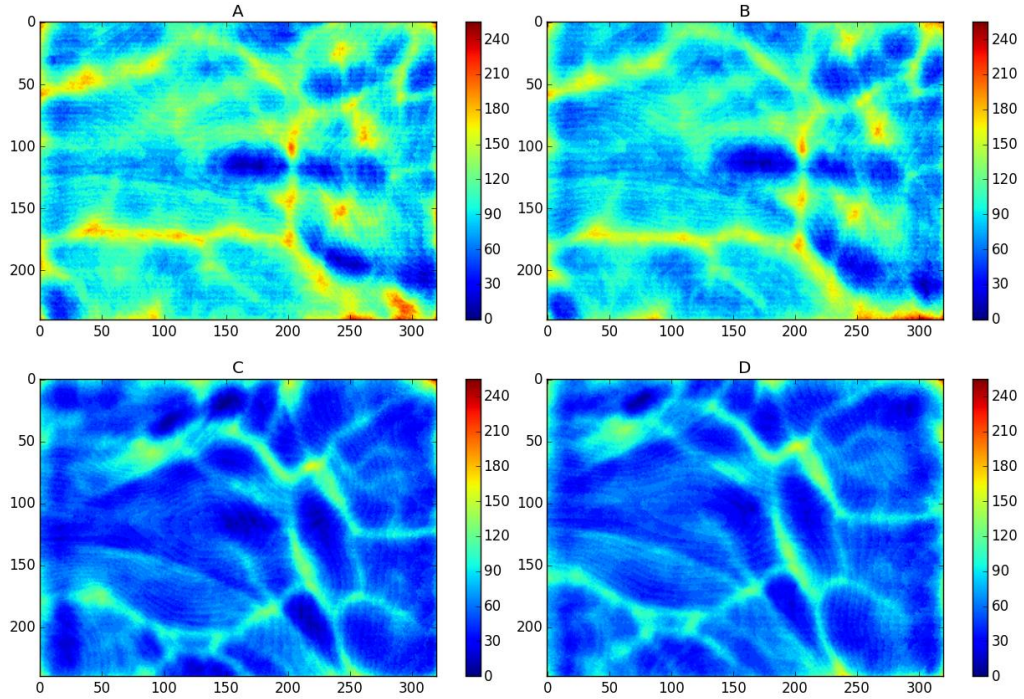
ifadesi elde edilir. Bu ifadede sapma ölçeğinden büyük, diğer bir deyişle yerel bloktan büyük değişimler içeren tüm hücreler genel ortalamaya eşitlenecektir. Damarların iz değerleri zarar görmemesi için görüntü içerisinde blok boyutu damar genişliğinden büyük, en küçük boyut olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Çalışmamızda görüntü üzerindeki yerel pencere çözünürlüğü 32x32 piksellik bir görüntü için 8x8, 64x64 piksellik bir görüntü için 15x15, 128x128 piksellik bir görüntü için 36x36 olarak en iyi sonuçları vermiştir.



Şekil 3.11. Orijinal Görüntü ve Önerilen Yöntem Çıktısı

Öncel işlemler adımı uygulanmadan gömülü donanımızdan farklı cinsiyetlere ait farklı zamanlarda alınan görüntüler Şekil 3.13'te görünmektedir.



Şekil 3.12. a-b) Farklı zamanlarda alınan kadına ait sağ avuç içi damar izi c-d) Farklı zamanlarda alınan erkeğe ait sağ avuç içi damar izi

3.2.8. Öznitelik Vektörlerinin Çıkarılması

3.2.8.1. Yerel İkili Öznitelikleri

Yerel ikilik öznitelikler bir görüntünün önceden belirlenmiş yerel bir bloğunun merkez noktasından çizilen bir çemberi kesen noktalarla arasındaki farkı gözeterak hesaplanan güçlü bir öznitelik vektörüdür [33].

Merkez noktanın komşuluklarına olan farkı negatif ise 0, pozitif ise 1 yazılan bir maske elde edilir ve bu maske ikilik sistemde saat yönünde 0 ve 1'ler birleştirilerek elde edilir. Örneğin 3x3 blok içerisinde alınacak 8 nokta için merkez noktanın bu noktalarla karşılaştırılması sonucu 8 bitlik bir değer verecektir. Tüm görüntü hücreleri için karşılaştırıldığında her bir hücre için 1 bayt öznitelik çıkarılacaktır. Görüntünün boyutu ve açısı sabit ise veya resim bir örüntüden oluşuyorsa bu öznitelik vektörleri çok başarılı sonuçlar vermektedir.

Matematiksel olarak ifade edecek olursak, i ve j koordinatlarına sahip g hücresi etrafında P adet noktayı R çapından kestirecek olursak Şekil 3.12,

$$g_{hücre} = I(i, j) \quad (3.8)$$

$$i_{yeni} = i + R * \cos\left(\frac{2\pi n}{P}\right) \quad (3.9)$$

$$j_{yeni} = j - R * \sin\left(\frac{2\pi n}{P}\right) \quad (3.10)$$

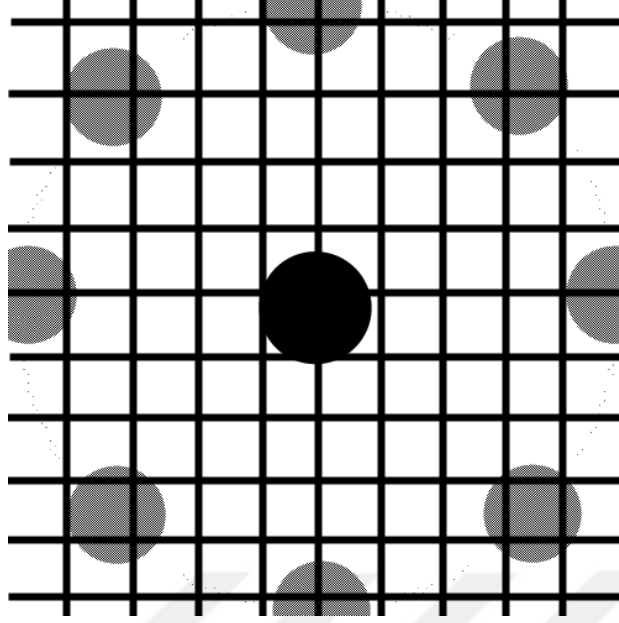
$$g_{yeni}(p) = I(i_{yeni}, j_{yeni}) \quad p = 0, 1, 2, \dots, P \quad (3.11)$$

$$S(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

$$YIO_{P,R}(i, j) = \sum_{p=0}^{P-1} S(g_{hücre} - g_{yeni}) * 2^p \quad (3.13)$$

şeklinde çıkarılır.

Çalışmamızda yerel ikili öznitelikler çıkartılırken 32x32 piksellik bir görüntüde yarıçapı 3, 64x64'te 4 ve 128x128'de ise 8 seçilerek en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.



Şekil 3.13. Yerel İkili Öznitelik Çıkarımı

3.2.8.2. Yön Doğrultularının Histogram Öznitelikleri

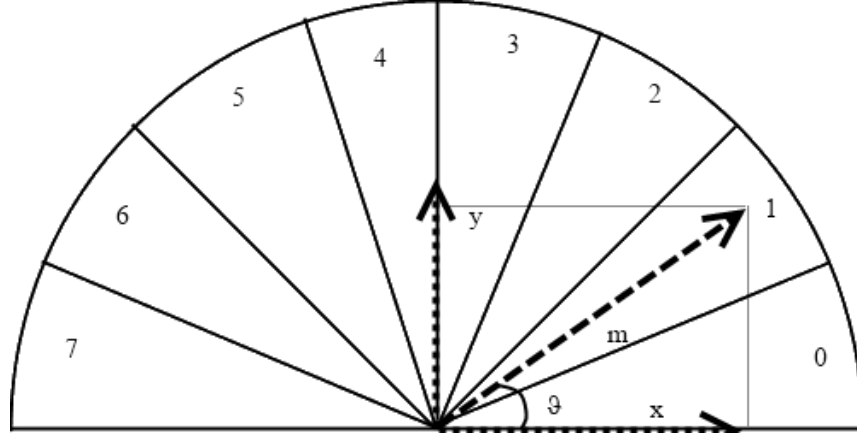
Bir görüntünün yerel bloklarındaki yön doğrultuları o görüntü ile ilgili güçlü öznitelikler taşır [34]. Boyut ve açı sabit olduğunda, yerel ikilik öznitelikler gibi görüntünün genel karışıklık seviyelerinden etkilenmeyen öznitelik değerlerine sahiptir. Yön doğrultuları gerçekte türev ile hesap edilir. 2 boyutlu bir matris olan görüntüde ise türev çıkışlı filtreler ile gerçekleştirilir. Dikey ve yatay eksenini de çıkarabilecek iki adet türev çıktı vektör,

$$D_x = [-1 \ 0 \ 1] \ ve \ D_y = [-1 \ 0 \ 1]^T \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilir. Bu vektörlerin görüntü üzerine uyarlanmasıyla dikey ve yatay eksen türevleri (I_x, I_y) elde edilir. Bu türev vektörlerinin uzunluğu ve açısı öznitelik vektörleri olarak kullanılır. Matematiksel olarak,

$$|G| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \ ve \ \vartheta = \arctan\left(\frac{I_x}{I_y}\right) \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilir. Hesaplanan kısmi türev açıları 0-180 derece aralığında n eşit bölgeden birine gelecek şekilde gruplandırılır. Örneğin $n=8$ için, Şekil 3.13'ü inceleyiz.



Şekil 3.14. Kısmi türevin açısına göre numaralandırılması

Açısına göre numaralanmış kısmi türevler ve büyüklüklerinin histogramı çıkarılır. Histogram 8 konuma eşdeğer 8 değer taşır. Histogramı alınacak kısmi türevlere sahip bölge görüntü üzerinde 3x3, 4x4 gibi bloklar üzerinde yapılır. Histogram açılı numaraları ve büyüklükleri histogram hesaplanırken konumlar arasında ciddi büyüklük farklılıkları çıkmaması (aliasing) için kısmi türev açısının bulunduğu konumun yan konumlarına da değer dengelenmesi a sabiti ile yapılır. Bu sabit, açılı değerinin komşu sınıra uzaklığının komşu sayısına b 'ye oranı ile bulunur.

$$a = \frac{\vartheta(x,y) - \vartheta_{sınır}}{b} \quad (3.16)$$

$$h[n] = h[n] + (1 - a) * m(x, y) \quad (3.17)$$

$$h[n + 1] = h[n + 1] + a * m(x, y) \quad (3.18)$$

Blok büyüklüğü hücre büyüklüğü ve konum sayısı belirlenmiş yön doğrultularının histogramları tek başlarına öznitelik vektörleri olarak kullanılırlar.

Çalışmamızda yön doğrultuların histogramı alınırken kullanılan pencere boyutları 32x32, 64x64 ve 128x128 piksel çözünürlüklerindeki resimler için sırasıyla 4x4, 8x8 ve 18x18 olarak hesaplanmıştır.

3.2.9. Öznitelik Verisinin Paketlenmesi ve Transferi

Görüntü üzerinden alınan öznitelikler her yöntemde $1 \times n$ şeklinde vektör oluşturmazlar. Örneğin yerel ikili öznitelik vektörleri görüntü matrisi ile aynı şekilde

çıkı veriri. Ayrıca gönderilen verinin gözlemlenememesi için oluşturulan vektör şifrelenmelidir.

Gömülü sistemimiz ve kullanıcı bilgisayarı arasındaki haberleşmede gönderilebilmek üzere düzenlenen yazılımla öznelik değerleri tek boyuta indirgenmiş ve bu transfer için gerekli asgari zamanın üzerinde eşik değeri belirlenmiştir.

3.2.10. Sistem Kapatma

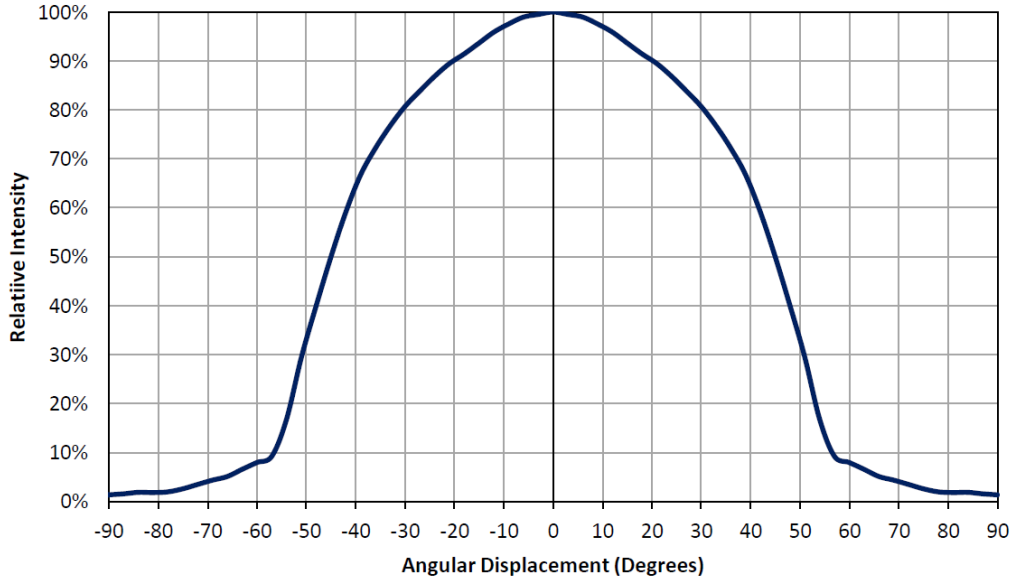
Geliştirme kartı üzerine yüklü işletim sisteminin dosya sistemi hafıza kartı üzerine kayıtlıdır. Elektronik bir flaş hafıza üzerine kurulu olmadığından işletim sistemi düzgün kapatılmadan karşılaşılan güç kesintileri dosya sistemini okunamaz hale getirmektedir.

Kullanıcı bilgisayarına tasarlanan yazılımda güvenli kaldır butonu eklenerek haberleşme katmanı üzerinden gönderilen kapat komutu programın kendisi de dâhil işletim sistemini kapatarak sistemi duraklama (halt) moduna geçirmektedir. Bu şekilde elektrikten ayrılan donanımla, hafıza kartı üzerindeki dosya sistemine yazım işlemi olmadığından emin olunabilmektedir.

3.3. MEKANİK TASARIM

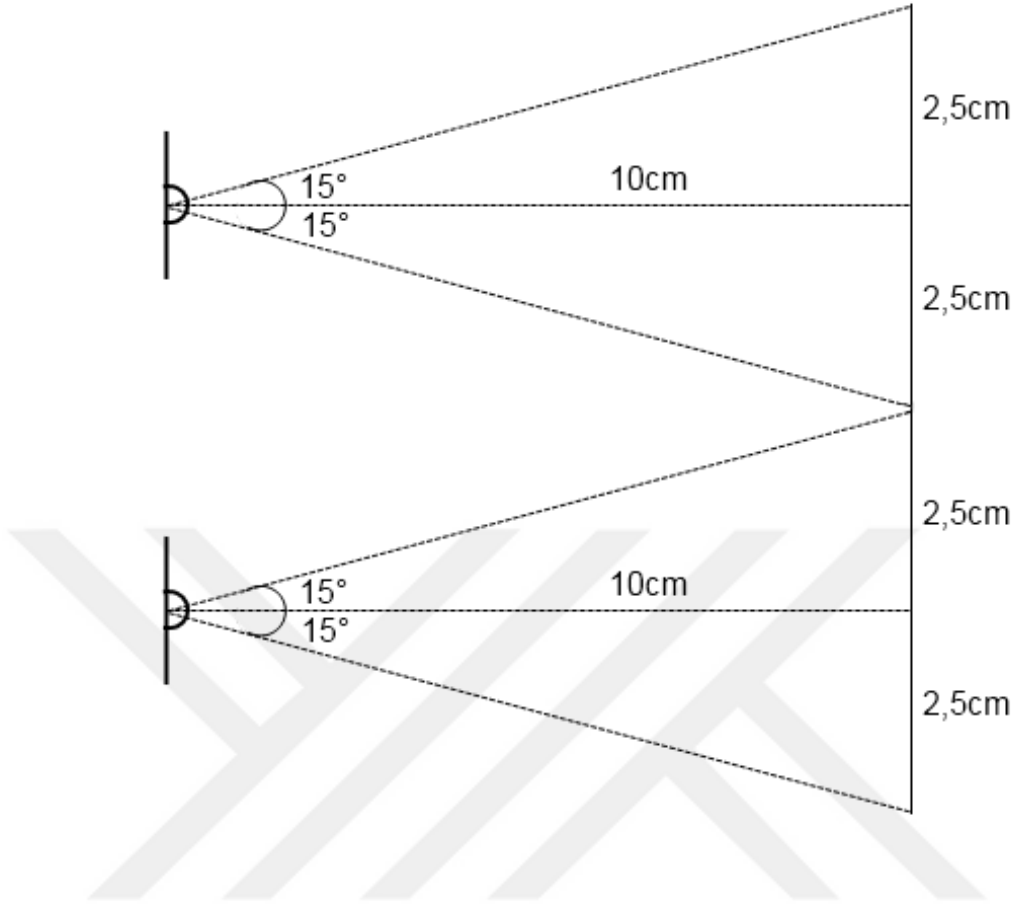
3.3.1. Işık Kaynağı Yerleşimi ve Açıları

Avuç içi damarların görüntülenmesinde kullanılan kızılötesi ışık kaynağı olarak kullanılan yüksek güçlü ışık yayan diyotlar (LZ1-10R602) 110 derece ile ışık yaymaktadır. Ancak yayım yoğunluğu grafiğinde ± 20 derece aralığında %90 ve üstü yoğunluğa ulaştığı belirtilmiştir Şekil 3.14.



Şekil 3.15. Açıya bağlı yayım yoğunluğu grafiği

Tasarlanan modelde 4 adet yüksek güçlü ışık yayan diyot kullanılarak azami 4 Watt güç kapasitesine ulaşılmıştır. Genel olarak avuç içinde odaklanacak bölge $10 \times 10 \text{ cm}^2$ olduğundan ışık akılarının birleşip istenmeyen parlaklıkların artmasını engellemek açısından iki kaynak arası mesafe 15 derecelik açı için minimum 5 cm bulunmuştur Şekil 3.15.

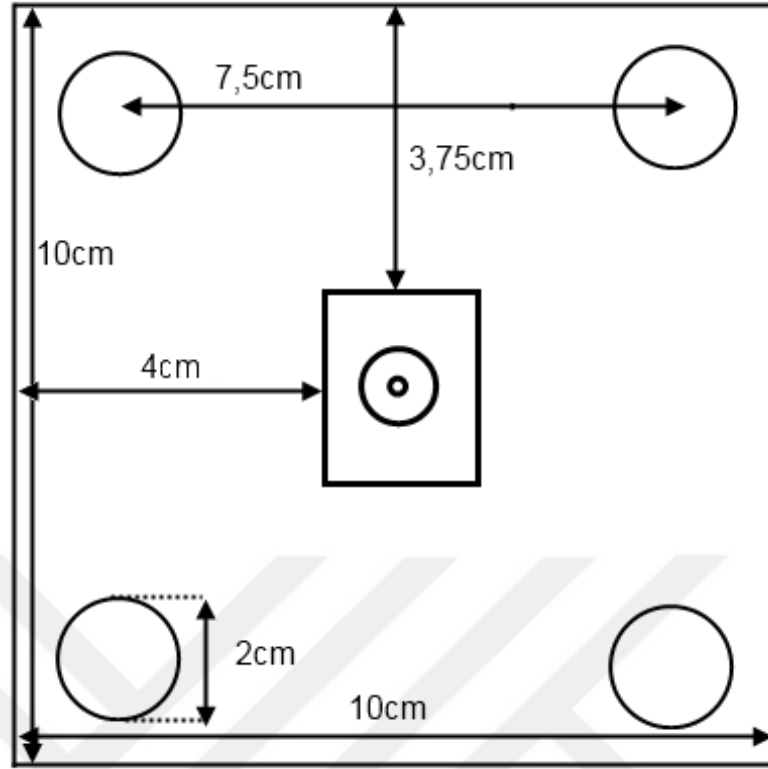


Şekil 3.16. İki kaynak arası minimum mesafe ölçüğü

İki kaynak arası mesafe 7.5 cm ve aya uzaklığı 10 cm mesafede tutularak ışık kaynaklarının özdeş bir şekilde aya içerisine odaklanması sağlanmıştır.

3.3.2. Kamera Yerleşimi ve Odağı

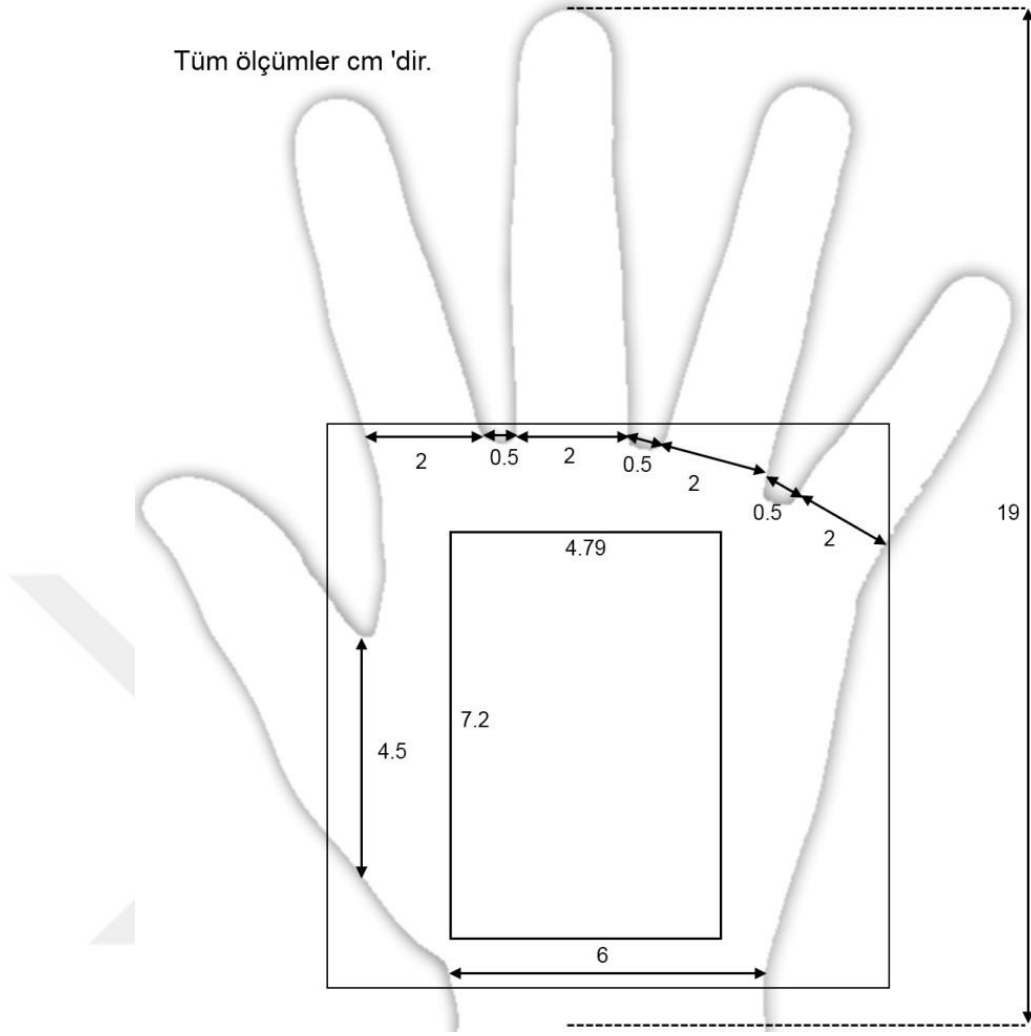
Gömülü sisteme ait kamera lens kullanılmadığında yatay ekseninde 54, dikey ekseninde 41 derecelik görüş açlarına sahiptir. Bu açılarda 2 metre uzaklıktaki bir nesnenin 2.0x1.33 m²'lik bir alanını görüntülemektedir. Bu bilgiler ile 7.2cm uzaklıktaki avuç içi görüntümüzün 7.2x4.79 cm²'lik bir bölgesini görüntüleyebilecektir. Lens kullanımına gerek kalmadan merkezdeki kamerayla ışık kaynakları 10 cm mesafeye odaklanabilecektir Şekil 3.16.



Şekil 3.17. Kamera ve ışık kaynaklarının yerleşimi

3.3.3. Ortalama El Ebatları ve Odağa Göre Yerleşimi

Ortalama el ebatları kutu tasarımı ve ilgilenilen bölge çıkarımı için gerekmektedir. Yapılan çalışmada farklı yaş ve cinsiyetteki 10 kişinin el görüntüleri bire bir kopyalanarak ortalama değer kestirimi yapılmıştır. Kadınların ortalama el ölçüleri erkeklere oranla daha küçük olduğundan tasarım ölçüleri erkeklerin el ölçülerinin ortalamasından alınmıştır Şekil 3.17.



Şekil 3.18. Ortalama El Ölçüleri

3.4. BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ

3.4.1. Veri Tabanı Oluşturma

Çalışmamızda 100 farklı kişiden sağ eline ait 3 adet avuç içi damar izi görüntüsü alındı. Veri tabanı oluşturulurken alınan görüntüler;

- Kadın/Erkek, yaş, cinsiyet ve hangi elin çekildiği bilgisi alınarak,
- 320x240 piksel çözünürlüğünde,
- 8 bit siyah-beyaz,
- Kayıpsız sıkıştırılarak “png” (Portable Network Graphics) olarak kaydedildi.

Görüntülerin kullanıcı bilgisayarı tarafından alınabilmesi için arayüz hazırlandı Şekil 3.18.



Şekil 3.19. Bilgisayar Arayüzü

Alınan görüntünün gözlemlenebilmesi için öncel işlemler adımı hesaplanarak hazırlanan kullanıcı arayüzünde alınan orijinal ve işlenmiş görüntü

gösterildi. Hatasız alınan görüntülerin kaydı kişisel bilgiler olmadan almadan program aracılığıyla numaralandırıldı ve isimlendirildi.

3.4.2. Öznitelik Vektörlerinin Karşılaştırılması

Öznitelik vektörlerinin sınıflandırılmasında vektörel benzerlik ve uzaklıklar kullanılabilir. Uzaklık hesaplarından en yaygın olarak kullanılan Öklid uzaklığıdır. 2 vektörün birbirine olan doğrusal uzaklık hesabını verir. Öklid uzaklığı en küçük olan 2 farklı öznitelik vektörü birbirine benzerdir denebilir. Aynı şekilde benzerlik algoritmalarından en yaygın kullanılan kosinüs benzerliğidir. Benzerlik ölçüsü 0 ile 1 arasındadır. Bu ölçüye göre 0'a en yakın benzerlik oranına sahip iki vektör birbirine benzerdir denebilir.

3.4.2.1. Vektörel Öklid Uzaklığı

İki vektör arasındaki uzaklığı hesaplamada vektör elemanlarının farklarının kareleri toplamının karekökü Öklid uzaklığını vermektedir.

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (3.19)$$

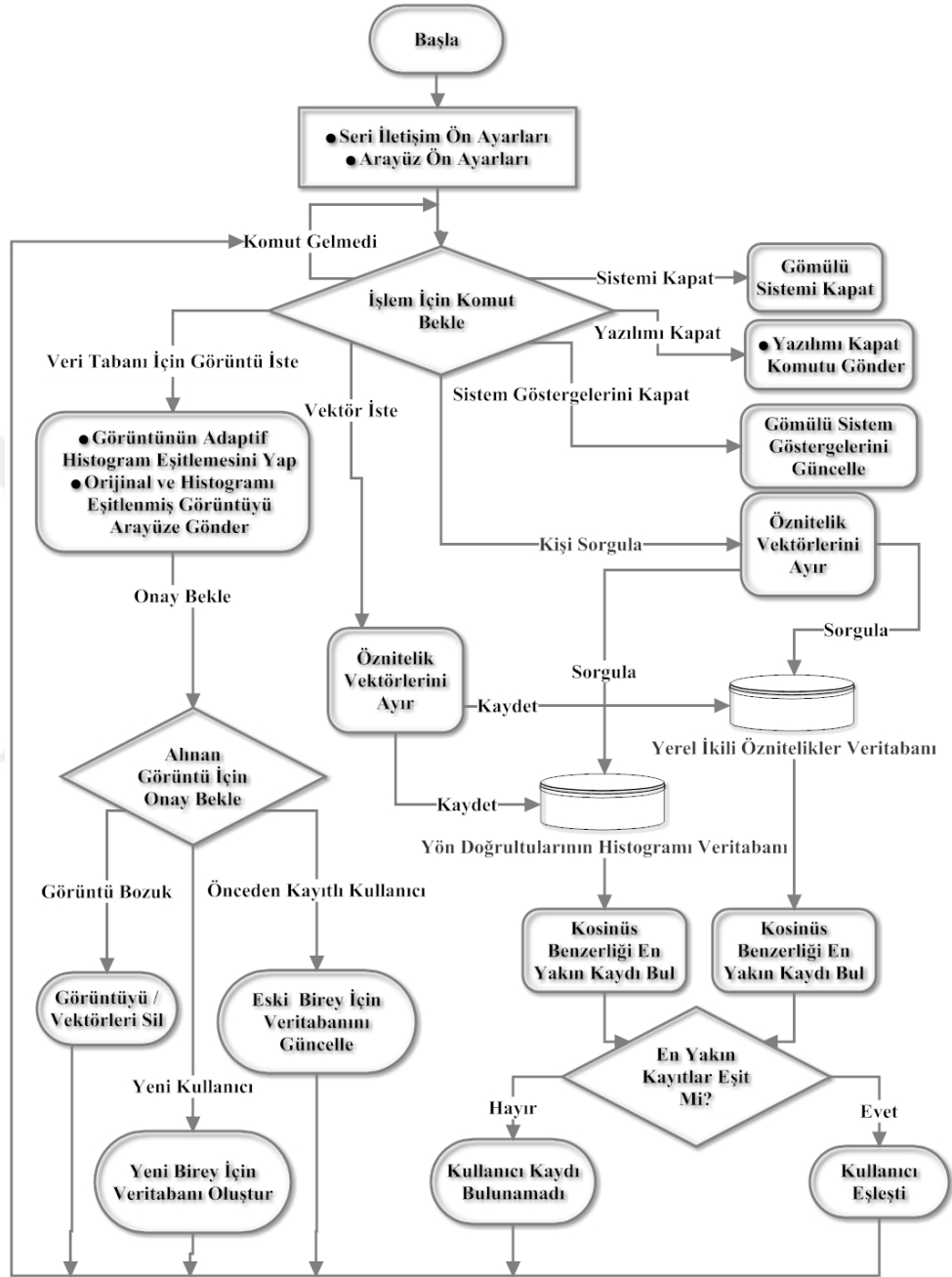
3.4.2.2. Kosinüs Benzerliği

İki vektör arasındaki benzerliği hesaplamada vektörlerin noktasal çarpımlarının vektör büyüklüklerine oranı Kosinüs benzerliğini vermektedir.

$$s(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i * q_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n q_i^2}} \quad (3.20)$$

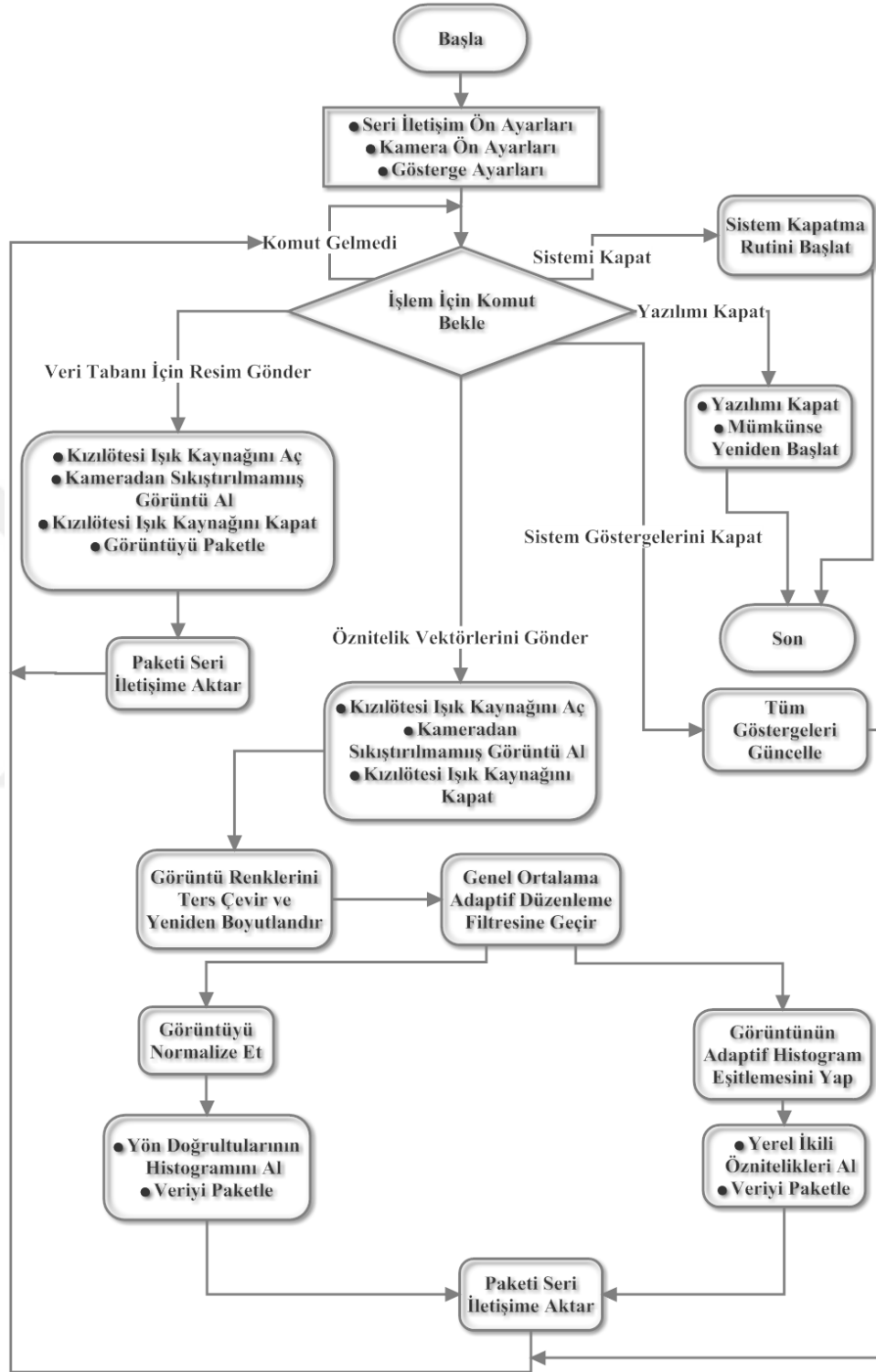
3.4.3. Algoritma Şeması

3.4.3.1. Kullanıcı Sistemi Algoritma Şeması



Şekil 3.20. Kullanıcı Sistemi Algoritma Şeması

3.4.3.2. Gömülü Sistem Algoritma Şeması



Şekil 3.21. Gömülü Sistem Algoritma Şeması

3.4.4. Performans Analizi

Sistem performansı, test etme ve sonuçları değerlendirmek için veri tabanı kayıt ve test olmak üzere ayrılır. Önerilen çalışmanın performansını test etmek için 100 bireyin sağ eline ait 3 görüntüden toplam 300 resimden oluşan veri tabanı Çizelge 3.7'deki gibi ayrılmıştır.

Çizelge 3.7. Veri Tabanı Test ve Kayıt Bölümlendirilmesi

KAYIT	TEST
75 avuç içine ait 2'şer adet görüntü	(75 eğitilmiş avuç içine ait 1'er görüntü) + (25 eğitilmemiş avuç içine ait 3'er görüntü)

Kaydedilen veriler 75 ayrı bireye ait görüntülerden, test verileri ise bu 75 tanıtılmış bireyi test edebilecek birer görüntü ve 25 tanıtılmamış bireyin görüntülerinden oluşmaktadır. Sistem performansını değerlendirebilmek için Doğru Kabul Oranı (TPR - True Positive Rate), Yanlış Kabul Oranı (FPR - False Positive Rate), bu oranların birbirlerine ait grafiği (ROC - Receiver Operating Characteristic), sistem doğruluk oranı (ACC - Accuracy), sistem hassasiyeti (SENS - Sensivity) ve sistem özgünlüğü (SPEC - Specifity) ile incelenmiştir. Sistem performansı verilerini edinebilmek için sistem testinde Çizelge 3.8 oluşturulmalıdır.

Çizelge 3.8. Eşleme ve Geri Çevirme Çizelgesi

Kullanıcı Kaydı	Eşleşme Bulundu	Eşleşme Bulunamadı
Kayıtlı	Doğru Eşleme – TP (True Positive)	Yanlış Geri Çevirme - FN (False Negative)
Yabancı	Yanlış Eşleme – FP (False Positive)	Doğru Geri Çevirme - TN (True Negative)

Sistem doğruluk oranı (ACC - Accuracy) doğru tahminlerin tüm tahminlere oranı ile bulunur. Sistemin doğru tahmin başarısını göstermektedir.

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (3.21)$$

Sistem hassasiyeti (SENS - Sensivity) kayıtlı bireylere ait doğru tahminlerin kayıtlı doğru tahminlerle kayıtlı yanlış tahminlerin toplamına oranı ile bulunur. Aynı zamanda doğru kabul oranına (TPR - True Positive Rate) eşittir. Sistemde kayıtlı kişilerin doğru tahmininin başarısını göstermektedir.

$$SENS = TPR = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3.22)$$

Sistem özgünlüğü (SPEC - Specificity) kayıtlı olmayan bireylerin doğru tahmininin tüm doğru tahminlere oranı ile bulunur. Aynı zamanda doğru geri çevirme oranına (TNR - True Negative Rate) eşittir.

$$SPEC = TNR = \frac{TN}{TP+TN} \quad (3.23)$$

Sistem yanlış kabul oranı (FPR – False Positive Rate) sistemde kayıtlı olmayan bireylerin doğru geri çevirmelerle yanlış tahminlerin toplamına oranı ile bulunur. Aynı zamanda sistem özgünlüğünün toplamada 1'e göre tersidir. Bu oran tanımlama ve doğrulama sistemlerinin dışarıdan müdahalelere karşı güvenilirliğini gösterir.

$$FPR = 1 - SPEC = \frac{FP}{TN+FP} \quad (3.24)$$

Performans gözlemlerinde bulunan doğru kabul oranı (TPR - True Positive Rate) ve yanlış kabul oranı (FPR - False Positive Rate) değerlerinin birbirleriyle yaptığı eğrinin (ROC - Receiver Operating Characteristic) sol üst köşesi sistemin en başarılı ve en güvenli olduğu noktadır. Bu grafik üzerinde $y = x$ doğrusu sistemin rastgele sınıflandırıldığı ROC alanının (AUC - Area Under Curve) 0.5'e eşit olduğu doğrudur. Bu doğrunun üstünden geçen performans eğrileri sol üst köşedeki (0,1)

noktasına yaklaştıkça grafik altındaki alan 1.0'a yaklaşır ve Çizelge 3.9'daki gibi sınıflandırılır.

Çizelge 3.9. ROC Eğrisine Göre Sistem Başarımı

ROC Grafik Alanı (AUC)	Sınıflandırma Başarısı
$0.9 < AUC < 1.0$	Mükemmel
$0.8 < AUC < 0.9$	İyi
$0.7 < AUC < 0.8$	Değersiz
$AUC < 0.7$	İyi Değil

ROC altındaki alan (AUC) hesaplanırken ROC eğrisi zamana bağlı bir fonksiyonmuş gibi gösterilerek 0'dan 1'e integrali alınır.

$$AUC = \int_0^1 ROC(t)dt \quad (3.25)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. GÖRÜNTÜ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ

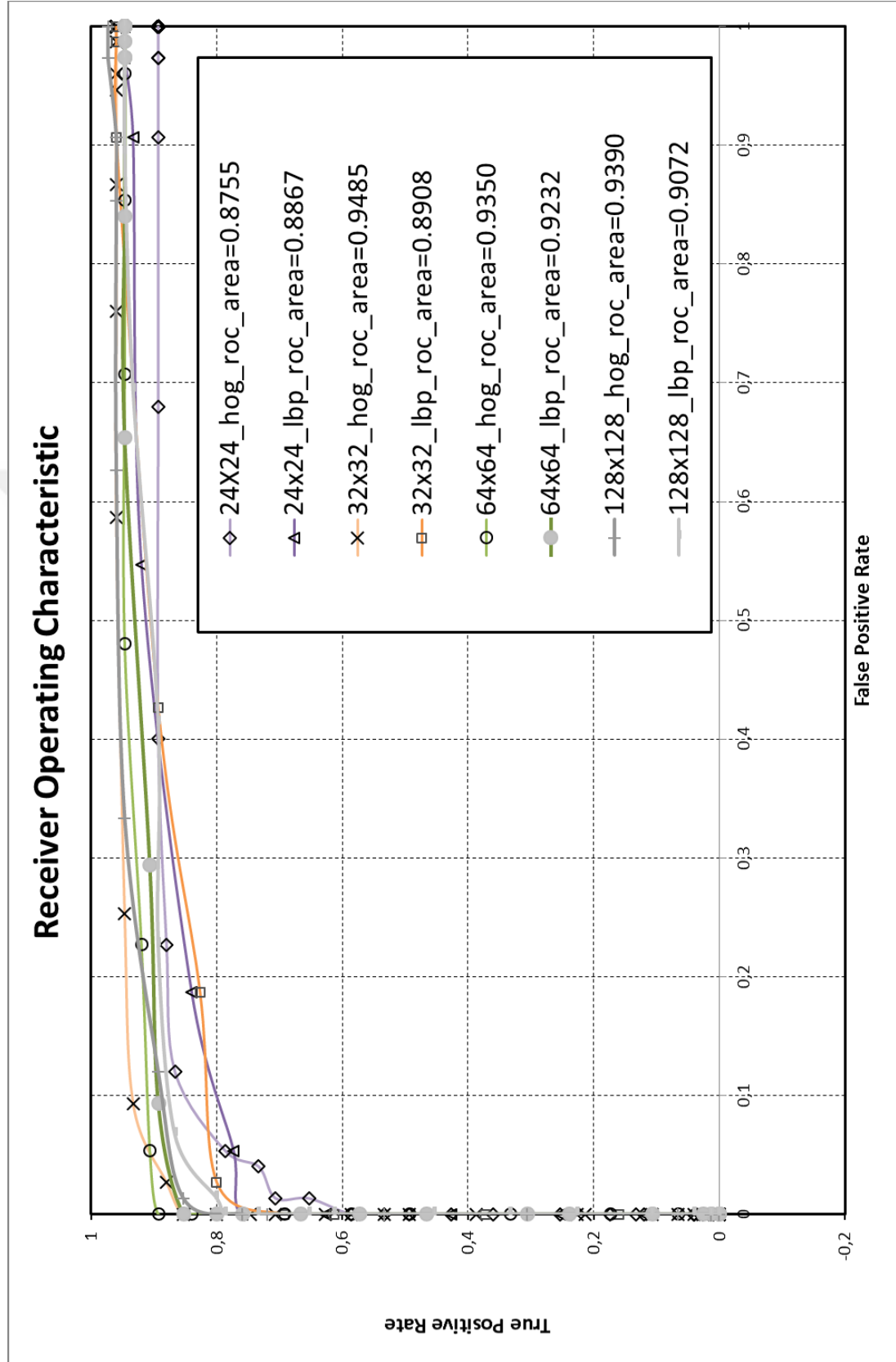
Görüntü çözünürlüğünün sistem üzerine etkisi hesaplanırken temel performans bileşenleri alınmıştır. 24x24, 32x32, 48x48, 64x64 ve 128x128 piksel için ROC eğrileri çıkarılmıştır Şekil 4.1.

Her bir görüntü çözünürlüğü için sistem doğruluğu ACC, sistem hassasiyeti SENS, sistem özgünlüğü SPEC ve ROC alanı AUC Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4.1. Çözünürlüğe Bağlı Sistem Performans Değerleri

Çözünürlük	ACC	SENS	SPEC	THRESHOLD LBP/HOG	
24x24	0.8800	0.8800	0.8800	0.0600	0.3800
32x32	0.9200	0.8667	0.9733	0.0600	0.2900
64x64	0.9533	0.9067	1.0000	0.1200	0.1600
128x128	0.9200	0.9067	0.9333	0.1200	0.0900

Sistemin doğruluk seviyesinin en yüksek olduğu çözünürlük değeri 64x64 pikseldir. Çözünürlük seviyesi arttıkça hassasiyet artmaktadır ancak doğruluk değeri 64x64 pikselden sonra gürültülerin artmasıyla düşmektedir. Yani kayıtlı kişileri tanıma oranı yükselmekte ancak beraberinde kayıtlı olmayan kişileri de kayıtlı olarak tanıma oranı yükselmektedir ki bu istenmeyen bir durumdur.



Şekil 4.1. Çözünürlüğe Bağlı ROC Eğrileri

4.2. KARŞITLIĞI YÜKSELTME

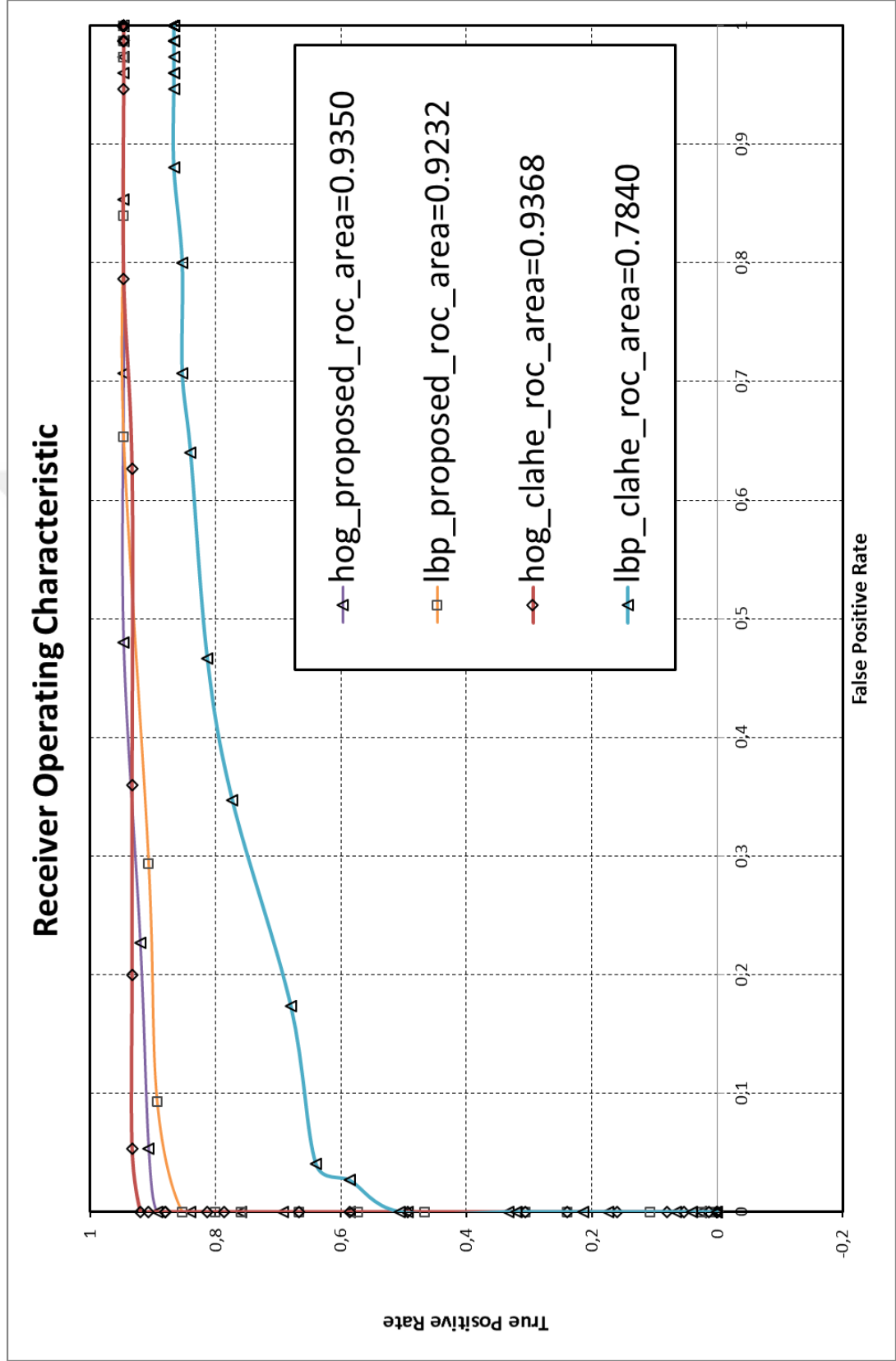
Siyah beyaz 8 bit veri tipindeki bir görüntü pikselinin alabileceği değerler 0 ile 255 arasındadır. Lakin çalışmamızda kullandığımız kameradan gelen görüntü üzerindeki piksel değerleri çoğunlukla 30 ile 100 aralığındadır. Karşıtlığı yükseltmenin en genel yolu 30-100 aralığının 0-255 aralığına normalizasyonudur. Ancak görüntü üzerindeki bölgelerin ışık yoğunluğu, kamera odağı gibi etmenlerle piksel değerlerindeki değişimler, histogram eşitleme ve genel normalizasyon istenmeyen sonuçlara yol açmasına sebep olmaktadır.

Şekil 3.10-11'deki gözlemsel veriler ışığında, çalışmamızda yerel ortalama adaptasyonun tanıma performansına ne kadar katkıda bulunduğu test edilmiştir.

Yerel ikili öznitelikleri alınacak görüntülerin yerel ortalama adaptasyonları ve adaptif histogram eşitlemesi yapıldı. Benzer şekilde yerel ortalama adaptasyonları alınan görüntülerin sadece normalizasyonu ile yön doğrultularının histogramı alındı. Önerilen bu çalışmamız ile yerel ortalama adaptasyonları yapılmamış görüntülerin aynı aşamalardan geçmiş halleri karşılaştırılarak, her iki yöntem için sistem doğruluğu (ACC), sistem hassasiyeti (SENS), sistem özgünlüğü (SPEC) ve ROC alanı hesaplanarak Çizelge 4.2'ye aktarılmıştır.

Çizelge 4.2. Önerilen Yöntem ile Adaptif Yerel Histogram E. Karşılaştırması

Yöntem	ACC	SENS	SPEC	THRESHOLD LBP/HOG	
Adaptif Yerel Histogram Eşitleme (64x64) Çözünürlük İçin	0.9400	0.9067	0.9600	0.0600	0.1900
Önerilen Yöntem (64x64) Çözünürlük İçin	0.9533	0.9067	1.0000	0.1200	0.1600



Şekil 4.2. Önerilen Yöntem ve Adaptif Histogram Eşitleme ROC eğrileri

Önerilen yöntem, yön doğrultularının histogramlarına etki etmemekle beraber yerel ikili öznelik karşılaştırmalarının daha yüksek performans vermesini sağlamıştır. Yeniden çizdirilen ROC eğrilerinin de daha yüksek alanlar verdiği Şekil4.2’de görülebilir.



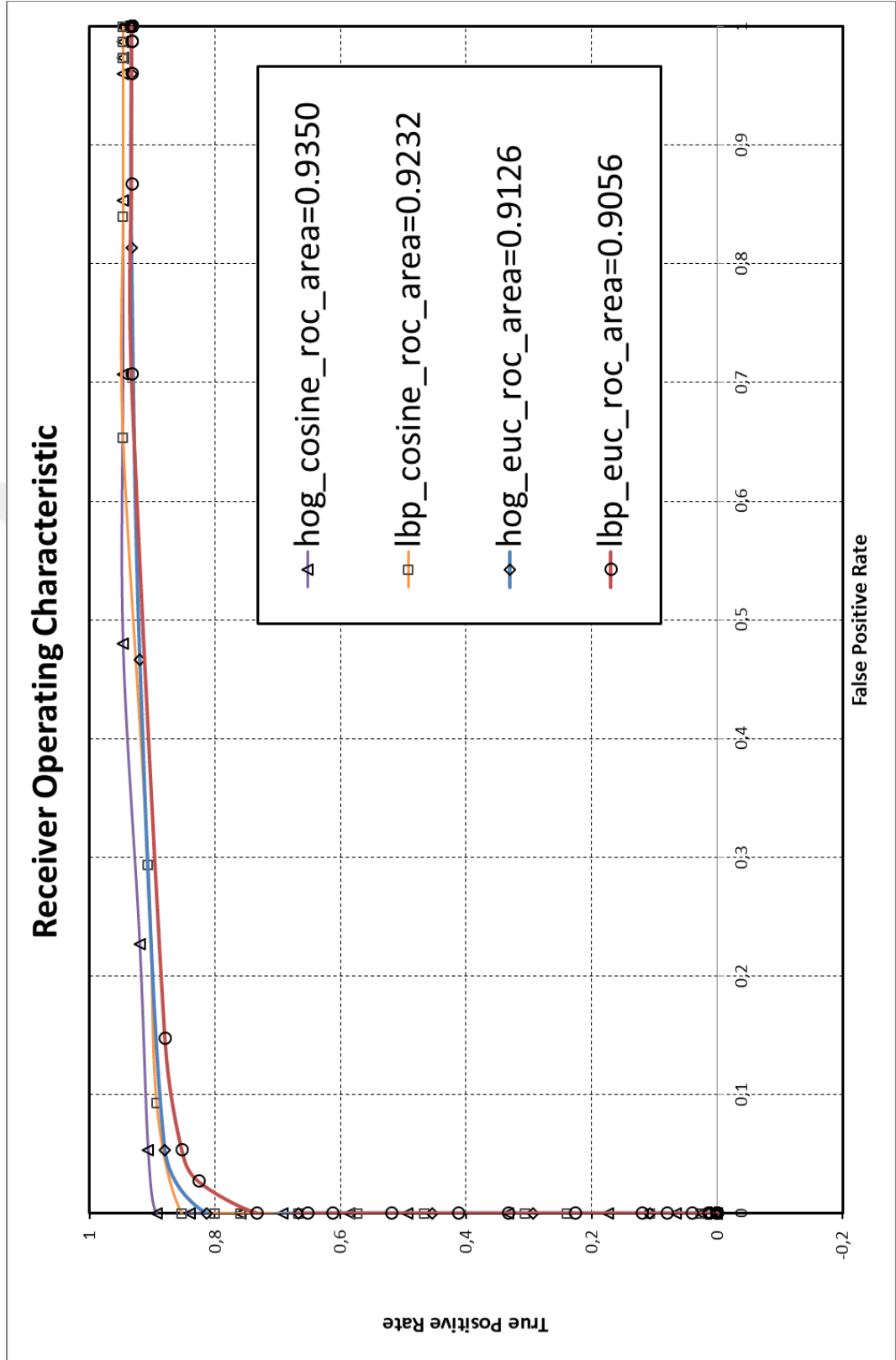
4.3. BENZERLİK METOTLARI

Yön doğrultularının histogramı özniteliklerin ve yerel ikili özniteliklerin sınıflandırılmasında benzerlik ölçüsü olarak kosinüs benzerliği ile minimum Öklid uzaklığı kullanılarak önerilen sistem ayrı ayrı test edilmiştir. Benzer şekilde her iki yöntem için sistem doğruluğu ACC, sistem hassasiyeti SENS, sistem özgünlüğü SPEC ve ROC alanı hesaplanarak Çizelge 4.3'ye aktarılmıştır.

Çizelge 4.3. Sınıflama Ölçütlerinin Karşılaştırması

Yöntem	ACC	SENS	SPEC	THRESHOLD LBP/HOG	
Minimum Öklid Uzaklığı ile sınıflandırma (64x64) Çözünürlük İçin	0.9067	0.8933	0.9200	2.0000	1.7000
Kosinüs Benzerliği ile sınıflandırma (64x64) Çözünürlük İçin	0.9533	0.9067	1.0000	0.1200	0.1600

Kosinüs benzerliği her iki öznitelik vektörlerinin karşılaştırılmasında minimum Öklid uzaklığı sınıflandırmasından daha iyi sonuçlar vermektedir. Çizdirilen ROC eğrilerinin alanları da minimum Öklid uzaklığına göre daha büyük çıktığı Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. Kosinüs Benzerliği ve Minimum Öklid Uzaklığı Sınıflandırmaları

4.4. SİSTEM PERFORMANSI VE MALİYETİ

Çalışmamızda tasarlamış olduğumuz avuç içi damar okuma ve doğrulama sisteminin okuma hızları, doğrulama hızları, kullanım alanına göre seçilecek yöntem başarısı ve genel sistem maliyeti hesaplanmıştır.

Gömülü sistem bilgisayarı üzerinde yapılan okuma işleminde toplam işlem süresi 500 ms (kızılötesi ışık kaynağını açık tutma süresine eşit), öncel işlemler ve öznitelikleri çıkarma ve gönderme süresi 400 ms (64x64 piksel boyutundaki görüntüden 3600 bayt yerel ikili öznitelik, buna ek olarak 900 bayt yön doğrultuların histogramı çıkarılarak) olarak hesaplanmıştır.

Kullanıcı arayüzünde toplam eşleme süresi ise Core i7 4702MQ @ 2.2 GHz, 8 Gb Ram'e sahip bilgisayarda 8.45 ms olarak hesaplanmıştır (1 vektörün 150 vektör ile karşılaştırılması). Okuma ve doğrulama işlem süresi toplamda 1 saniyenin altında hesaplanmıştır. Bu sürede sistemin gerçek zamanlı çalışması için uygun olarak görülebilir.

Sistem bir bankomat üzerinde kullanılacak ise, yanlış doğrulama oranının 1000 kullanıcıda 0 olduğu, yanlış geri çevirme oranının 1000 kullanıcıda 94 olduğu 64x64 piksel çözünürlük ile HOG eşik değeri 0.16, LBP eşik değeri 0.12 seçilir. Hatalı olarak geri çevrilen kullanıcılardan tekrar doğrulama istenir, ama yanlış doğrulama hiç yapılmamış olur.

Sistem bir apartman, garaj girişi gibi daha az güvenlik gerektiren yerlerde kullanılacak ise, doğrulama başarısı açısından 64x64 çözünürlük ile HOG ve LBP eşik değerleri yükseltilerek yanlış geri çevirme oranı düşürülebilir.

Sistem maliyet açısından değerlendirilecek olursa, kullanılan yazılım bileşenleri açık kaynak ve ücretsizdir. Donanım bileşenlerine bakılacak olursa günümüz kur değerlerine göre Çizelge 4.4'e bakılabilir.

Çizelge 4.4. Gömülü sistem arayüzü donanım bileşenlerinin maliyetleri

Donanım Bileşeni	Maliyeti
Raspberry Pi Type B	100.30 TL
4 GB Class 10 MicroSD Hafıza Kartı	20.00 TL
Raspberry Pi Kamera Noir	95.58 TL
LedEngin LZ1-00R402 x 4 Adet	188.49 TL
LM2596 Akım ve Voltaj kontrollü regülatör x2	50.00 TL
FT232 USB TTL Sinyal Dönüştürücü	15.00 TL
Kutulama Maliyetleri	50.00 TL
Toplam Maliyet	519.37 TL

Çizelge 4.4'te de görüldüğü gibi sistemin ana maliyetlerini arttıran elemanlar kullanılan LED'ler ve kameradır. Gelecek çalışmalarımızda bu ürünlerin eşdeğerlerini bulma ve sistem maliyetini düşürmeyi ön planda çıkaracağız.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, avuç içi damar görüntülerini kullanarak bireyleri doğrulamaya çalışan biyometrik tanıma sistemini kapsamaktadır. Geliştirmelerin tümü Python programlama dili ile Linux çekirdeği barındıran bir gömülü bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan sistem bankomatlarda, kapı girişlerinde veya bilgisayar kullanıcı girişlerinde başarı ile çalışabilir.

Çalışmamızda kullandığımız yöntem ile farklı çözünürlüklerde farklı kullanım alanlarına hitap edecek sonuçlara erişilmiştir. Yabancı girişlere izin verilmeyecek kullanım alanlarında 64x64 piksel çözünürlük ile 0.16 ve 0.12'ye ayarlanan HOG/LBP eşik değerleri, daha az güvenlik gerektiren kullanım alanlarında 64x64 piksel çözünürlükle arttırılan eşik değerleri ile farklı doğrulama ve özgünlük değerleri sağlanabilmektedir.

Uyguladığımız yöntemler eşliğinde yanlış geri çevirme oranını 1000 kullanıcıda 94'te tutarak yanlış doğrulama oranını 1000 kullanıcıda 0'a indirmeyi başararak bankomat ve hastanelerin gerektirdiği güvenlik seviyelerine ulaşılmıştır. Benzer şekilde güvenliği daha az gerektirecek yerlere uygun hale getirilebilecek çözünürlük ve algoritma limitleri değiştirilebilecek şekilde bırakılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Dario Maio, Anil K. Jain, Salil Prabhakar Davide Maltoni, *Handbook of Fingerprint Recognition-Second Edition*.: Springer, 2009.
- [2] Salil Prabhakar, Anil K. Jain Sharath Pankanti, "On the individuality of fingerprints," *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 24, no. 8, pp. 1010-1025, 2002.
- [3] Davide Maltoni, Raffaele Cappelli, Jim L. Wayman, Anil K. Jain Dario Maio,.: Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [4] Takeo Kanade, *Computer recognition of Human Faces*. Birkhauser Verlag, Basel und Stuttgart, 1977.
- [5] Hassan Ugail, Ian Palmer Xia Han, "Gender Classification Based on 3D Face Geometry Features using SVM," in *2009 International Conference on CyberWorlds*, 2009.
- [6] M.A. Turk, "Face recognition using eigenfaces," in *IEEE Computer Society Conference*, Maui, HI, 1991, pp. 586 - 591.
- [7] Joao P. Hespanha, and David J. Kriegman Peter N. Belhumeur, "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection," *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 19, no. 7, July 1997.
- [8] Jo~ao P. Hespanha, David J. Kriegman Peter N. Belhumeur, "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection," *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 19, no. 7, 1997.
- [9] PhD, OBE John Daugman, "How Iris Recognition Works," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on (Volume:14 , Issue: 1)* ,

pp. 21 - 30 , 2004.

- [10] John Daugman. (Son Erişim Tarihi 10/07/2015) University Of Cambridge Computer Laboratory. [Online]. <http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/addisadvans.html>
- [11] R.S. Choras, "Retina recognition for biometrics," in *Digital Information Management (ICDIM), 2012 Seventh International Conference*, Macau, 2012, pp. 177 - 180.
- [12] Dhiraj Girdhar, Ratna Dahiya, G. Sainarayanan Jyoti Malik, "Accuracy Improvement in Palmprint Authentication System," *I.J. Image, Graphics and Signal Processing*, pp. 51-59, 2015.
- [13] S. Ribari, D. Ribari N. Paveši, "Personal authentication using hand-geometry and palmprint features," *Hand*, vol. 11, no. 12, 2004.
- [14] Fujitsu Frontech. (Son Erişim Tarihi 10/07/2015) What is palm vein authentication. [Online]. <http://www.fujitsu.com/jp/group/frontech/en/solutions/business-technology/security/palmsecure/what/>
- [15] J.M. Smith, C.L. Cross, "Thermographic imaging of the subcutaneous vascular network of the back of the hand for biometric identification," in *International Carnahan Conference*, 1995, pp. 20 - 35.
- [16] Modris Greitans, Rihards Fuksis, Mihails Pudzs, Zanda Serzane Olegs Nikisins, "Increasing the Reliability of Biometric Verification by using 3D Face Information and Palm Vein Patterns," *BIOSIG*, no. 164, pp. 133-138, 2010.
- [17] Toshio Endoh, Morito Shiohara, and Shigeru Sasaki Masaki Watanabe, "Palm vein authentication technology and its applications," in *Proceedings of the biometric consortium conference*, Japan, 2005, pp. 19-21.

- [18] M. Watanabe, "Palm Vein Authentication," *"White Paper"*, pp. 75-88, 2005.
- [19] Akio Nagasaka, Takafumi Miyatake Naoto Miura, "Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification," *Machine Vision and Applications*, vol. 4, no. 15, 2004.
- [20] K. A., Eng, H. L., Choo, Y. S., Cha, Y. L., Yau, W. Y., Low, K. S. Toh, "Identity Verification Through Palm Vein and Crease Texture," *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 546-553, 2005.
- [21] G. Leedham, S.-Y. Cho L. Wang, "Infrared imaging of hand vein patterns for biometric purposes," *IET computer vision*, vol. 3, no. 1, pp. 113-122, 2007.
- [22] D.P., Narote, S.P. Gaikwad, "Multi-modal biometric system using palm print and palm vein features," in *India Conference (INDICON)*, Mumbai, 2013, pp. 1 - 5.
- [23] Dewen Hu Huan Zhang, "A Palm Vein Recognition System," in *Intelligent Computation Technology and Automation*, Changsha, 2010, pp. 285 - 288.
- [24] M., Setarehdan, S.K., Daneshmand, R.S. Fakoor, "Visualization of palm veins in NIR images, application in clinical injection and identification," in *Electrical Engineering (ICEE), 2013 21st Iranian Conference*, Mashhad, 2013, pp. 1 - 6.
- [25] Kumar, A. Yingbo Zhou, "Human Identification Using Palm-Vein Images," *Information Forensics and Security, IEEE Transactions on Biometrics Compendium*, no. 6, pp. 1259 - 1274, 2011.
- [26] A., Malage, A., More, D., Hemane, P., Bhautmage, P., Dhandekar, D. Gupta, "Feature level fusion of face, palm vein and palm print modalities using Discrete Cosine Transform," in *Advances in Engineering and Technology Research (ICAETR)*, Unnao, 2014, pp. 1 - 5.
- [27] L., Leedham, G., & Cho, D. S. Y. Wang, "Minutiae feature analysis for infrared hand vein pattern biometrics," *Pattern recognition*, vol. 3, no. 41, pp. 920-929,

2008.

- [28] Parminder Kaur Mansi Manocha, "Palm Vein Recognition for Human Identification Using NN," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 3, no. 7, December 2013.
- [29] Tjokorda Agung B. W.,Mahmud Dwi Sulistiyo Didi Yudha Perwira, "Personal Palm Vein Identification Using Principal Component Analysis and Probabilistic Neural Network," in *International Conference on Information Technology Systems and Innovation*, Bandung-Bali, 2014, pp. 24-27.
- [30] Raspberry Pi Datasheet. (Son Erişim Tarihi 10/07/2015) [Online]. <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/127d/0900766b8127da4b.pdf>
- [31] HAROLD A. MUELLER & DAVID H. SLINEY WILLIAM T. HAM. JR, "Retinal sensitivity to damage from short wavelength light," *Nature*, pp. 153-155, Ocak 1976.
- [32] L. Akarun, B. Sankur A. Yüksel, "Biometric Identification Through Hand Vein Patterns," in *The First International Workshop on Emerging Techniques and Challenges for Hand-based Biometrics*, Istanbul, 2010, pp. 1-6.
- [33] Abdenour Hadid, Matti Pietikäinen Timo Ahonen, "Face Recognition with Local Binary Patterns," *Computer Vision - ECCV 2004*, pp. 469-481, 2004.
- [34] Navneet, and Bill Triggs Dalal, "Histograms of oriented gradients for human detection," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005*, 2005, pp. 886-893.
- [35] J. M., & Smith, C. L. Cross, "Thermographic imaging of the subcutaneous vascular network of the back of the hand for biometric identification," in *International Carnahan Conference*, 1995, pp. 20-35.
- [36] M., Ueki, H., & Umemura, S. I. Kono, "Near-infrared finger vein patterns for

personal identification," *Applied Optics*, vol. 35, no. 41, pp. 7429-7436, 2002.

- [37] J. D., & Ye, S. H. Wu, "Driver identification using finger-vein patterns with Radon transform and neural network," *Expert Systems with Applications* , vol. 3, no. 36, pp. 5793-5799, 2009.
- [38] K. A., Eng, H. L., Choo, Y. S., Cha, Y. L., Yau, W. Y., & Low, K. S. Toh, "Identity verification through palm vein and crease texture," *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 546-553, 2005.
- [39] Z., Ma, S., & Han, X. Zhang, "Multiscale feature extraction of finger-vein patterns based on curvelets and local interconnection structure neural network," in *Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006*, vol. 4, Hong Kong, 2006, pp. 145-148.
- [40] N., Nagasaka, A., & Miyatake, T. Miura, "Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification," *Machine Vision and Applications*, vol. 4, no. 15, pp. 194-203, 2004.

EKLER

Ek-1 Çözünürlüğe Bağlı Eşik Değerlerinin Belirlenmesinde Kullanılan Sistem Çıktıları

Ek-1.1 24x24 Çözünürlük İçin Eşik Değerlerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Çizelge Ek-1.1 LBP Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	1	75	0	74	0,01	0,00	0,50	1,00
0,02	9	75	0	66	0,12	0,00	0,60	1,00
0,03	19	75	0	56	0,25	0,00	0,60	1,00
0,04	32	75	0	43	0,43	0,00	0,70	1,00
0,05	47	75	0	28	0,63	0,00	0,80	1,00
0,06	57	75	0	18	0,76	0,00	0,90	1,00
0,07	58	71	4	17	0,77	0,05	0,90	0,95
0,08	63	61	14	12	0,84	0,19	0,80	0,81
0,09	69	34	41	6	0,92	0,55	0,70	0,45
0,1	70	7	68	5	0,93	0,91	0,50	0,09
0,11	71	2	73	4	0,95	0,97	0,50	0,03
0,12	71	0	75	4	0,95	1,00	0,50	0,00
0,13	71	0	75	4	0,95	1,00	0,50	0,00
0,14	71	0	75	4	0,95	1,00	0,50	0,00

Çizelge Ek-1.2 HOG Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,02	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,03	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,04	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,05	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,06	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,07	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,08	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,09	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,1	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,11	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,12	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0,13	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,14	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,15	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,16	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,17	1	75	0	74	0,01	0,00	0,51	1,00
0,18	1	75	0	74	0,01	0,00	0,51	1,00
0,19	1	75	0	74	0,01	0,00	0,51	1,00
0,2	1	75	0	74	0,01	0,00	0,51	1,00
0,21	2	75	0	73	0,03	0,00	0,51	1,00
0,22	3	75	0	72	0,04	0,00	0,52	1,00
0,23	3	75	0	72	0,04	0,00	0,52	1,00
0,24	3	75	0	72	0,04	0,00	0,52	1,00
0,25	9	75	0	66	0,12	0,00	0,56	1,00
0,26	10	75	0	65	0,13	0,00	0,57	1,00
0,27	13	75	0	62	0,17	0,00	0,59	1,00
0,28	19	75	0	56	0,25	0,00	0,63	1,00
0,29	27	75	0	48	0,36	0,00	0,68	1,00
0,3	32	75	0	43	0,43	0,00	0,71	1,00
0,31	37	75	0	38	0,49	0,00	0,75	1,00
0,32	40	75	0	35	0,53	0,00	0,77	1,00
0,33	44	75	0	31	0,59	0,00	0,79	1,00
0,34	49	74	1	26	0,65	0,01	0,82	0,99
0,35	53	74	1	22	0,71	0,01	0,85	0,99
0,36	55	72	3	20	0,73	0,04	0,85	0,96
0,37	59	71	4	16	0,79	0,05	0,87	0,95
0,38	65	66	9	10	0,87	0,12	0,87	0,88
0,39	66	58	17	9	0,88	0,23	0,83	0,77
0,4	67	45	30	8	0,89	0,40	0,75	0,60
0,41	67	24	51	8	0,89	0,68	0,61	0,32
0,42	67	7	68	8	0,89	0,91	0,49	0,09
0,43	67	2	73	8	0,89	0,97	0,46	0,03
0,44	67	2	73	8	0,89	0,97	0,46	0,03
0,45	67	0	75	8	0,89	1,00	0,45	0,00
0,46	67	0	75	8	0,89	1,00	0,45	0,00
0,47	67	0	75	8	0,89	1,00	0,45	0,00

Çizelge Ek-1.3 Maksimum Doğruluk İçin Toplam Sistem Performansı

HOGTh	LBPTH	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0.38	0.06	66.00	66.00	9.00	9.00	0.88	0.12	0.88	0.88

Ek-1.2 32x32 Çözünürlük İçin Eşik Değerlerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Çizelge Ek-1.4 LBP Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	2	75	0	73	0,03	0,00	0,51	1,00
0,02	12	75	0	63	0,16	0,00	0,58	1,00
0,03	28	75	0	47	0,37	0,00	0,69	1,00
0,04	46	75	0	29	0,61	0,00	0,81	1,00
0,05	52	75	0	23	0,69	0,00	0,85	1,00
0,06	60	73	2	15	0,80	0,03	0,89	0,97
0,07	62	61	14	13	0,83	0,19	0,82	0,81
0,08	67	43	32	8	0,89	0,43	0,73	0,57
0,09	72	7	68	3	0,96	0,91	0,53	0,09
0,1	72	1	74	3	0,96	0,99	0,49	0,01
0,11	72	0	75	3	0,96	1,00	0,48	0,00
0,12	72	0	75	3	0,96	1,00	0,48	0,00
0,13	72	0	75	3	0,96	1,00	0,48	0,00

Çizelge Ek-1.5 HOG Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,02	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,03	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,04	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,05	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,06	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,07	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,08	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,09	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,1	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,11	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,12	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,13	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,14	2	75	0	73	0,03	0,00	0,51	1,00
0,15	2	75	0	73	0,03	0,00	0,51	1,00
0,16	3	75	0	72	0,04	0,00	0,52	1,00
0,17	5	75	0	70	0,07	0,00	0,53	1,00

0,18	8	75	0	67	0,11	0,00	0,55	1,00
0,19	16	75	0	59	0,21	0,00	0,61	1,00
0,2	17	75	0	58	0,23	0,00	0,61	1,00
0,21	29	75	0	46	0,39	0,00	0,69	1,00
0,22	37	75	0	38	0,49	0,00	0,75	1,00
0,23	40	75	0	35	0,53	0,00	0,77	1,00
0,24	44	75	0	31	0,59	0,00	0,79	1,00
0,25	47	75	0	28	0,63	0,00	0,81	1,00
0,26	53	75	0	22	0,71	0,00	0,85	1,00
0,27	56	75	0	19	0,75	0,00	0,87	1,00
0,28	60	75	0	15	0,80	0,00	0,90	1,00
0,29	64	75	0	11	0,85	0,00	0,93	1,00
0,3	66	73	2	9	0,88	0,03	0,93	0,97
0,31	70	68	7	5	0,93	0,09	0,92	0,91
0,32	71	56	19	4	0,95	0,25	0,85	0,75
0,33	72	31	44	3	0,96	0,59	0,69	0,41
0,34	72	18	57	3	0,96	0,76	0,60	0,24
0,35	72	10	65	3	0,96	0,87	0,55	0,13
0,36	72	4	71	3	0,96	0,95	0,51	0,05
0,37	72	3	72	3	0,96	0,96	0,50	0,04
0,38	72	1	74	3	0,96	0,99	0,49	0,01
0,39	72	0	75	3	0,96	1,00	0,48	0,00
0,4	72	0	75	3	0,96	1,00	0,48	0,00
0,41	72	0	75	3	0,96	1,00	0,48	0,00

Çizelge Ek-1.6 Maksimum Doğruluk İçin Toplam Sistem Performansı

HOGTh	LBPTTh	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0.29	0.06	65.00	73.00	2.00	10.00	0.87	0.03	0.92	0.97

Ek-1.3 64x64 Çözünürlük İçin Eşik Değerlerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Çizelge Ek-1.7 LBP Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,02	1	75	0	74	0,01	0,00	0,51	1,00
0,03	2	75	0	73	0,03	0,00	0,51	1,00
0,04	8	75	0	67	0,11	0,00	0,55	1,00
0,05	18	75	0	57	0,24	0,00	0,62	1,00

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0,06	23	75	0	52	0,31	0,00	0,65	1,00
0,07	35	75	0	40	0,47	0,00	0,73	1,00
0,08	43	75	0	32	0,57	0,00	0,79	1,00
0,09	50	75	0	25	0,67	0,00	0,83	1,00
0,1	57	75	0	18	0,76	0,00	0,88	1,00
0,11	60	75	0	15	0,80	0,00	0,90	1,00
0,12	64	75	0	11	0,85	0,00	0,93	1,00
0,13	67	68	7	8	0,89	0,09	0,90	0,91
0,14	68	53	22	7	0,91	0,29	0,81	0,71
0,15	71	26	49	4	0,95	0,65	0,65	0,35
0,16	71	12	63	4	0,95	0,84	0,55	0,16
0,17	71	2	73	4	0,95	0,97	0,49	0,03
0,18	71	2	73	4	0,95	0,97	0,49	0,03
0,19	71	1	74	4	0,95	0,99	0,48	0,01
0,2	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00
0,21	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00
0,22	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00

Çizelge Ek-1.8 HOG Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,02	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,03	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,04	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,05	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,06	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,07	2	75	0	73	0,03	0,00	0,51	1,00
0,08	5	75	0	70	0,07	0,00	0,53	1,00
0,09	13	75	0	62	0,17	0,00	0,59	1,00
0,1	25	75	0	50	0,33	0,00	0,67	1,00
0,11	37	75	0	38	0,49	0,00	0,75	1,00
0,12	44	75	0	31	0,59	0,00	0,79	1,00
0,13	52	75	0	23	0,69	0,00	0,85	1,00
0,14	57	75	0	18	0,76	0,00	0,88	1,00
0,15	63	75	0	12	0,84	0,00	0,92	1,00
0,16	67	75	0	8	0,89	0,00	0,95	1,00
0,17	68	71	4	7	0,91	0,05	0,93	0,95
0,18	69	58	17	6	0,92	0,23	0,85	0,77
0,19	71	39	36	4	0,95	0,48	0,73	0,52

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0,2	71	22	53	4	0,95	0,71	0,62	0,29
0,21	71	11	64	4	0,95	0,85	0,55	0,15
0,22	71	3	72	4	0,95	0,96	0,49	0,04
0,23	71	2	73	4	0,95	0,97	0,49	0,03
0,24	71	1	74	4	0,95	0,99	0,48	0,01
0,25	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00
0,26	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00

Çizelge Ek-1.9 Maksimum Doğruluk İçin Toplam Sistem Performansı

HOGTh	LBPTH	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0.16	0.12	68.00	75.00	0.00	7.00	0.91	0.00	0.95	1.00

Ek-1.4 128x128 Çözünürlük İçin Eşik Değerlerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Çizelge Ek-1.10 LBP Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	1	75	0	74	0,01	0,00	0,51	1,00
0,02	3	75	0	72	0,04	0,00	0,52	1,00
0,03	8	75	0	67	0,11	0,00	0,55	1,00
0,04	17	75	0	58	0,23	0,00	0,61	1,00
0,05	25	75	0	50	0,33	0,00	0,67	1,00
0,06	34	75	0	41	0,45	0,00	0,73	1,00
0,07	46	75	0	29	0,61	0,00	0,81	1,00
0,08	49	75	0	26	0,65	0,00	0,83	1,00
0,09	55	75	0	20	0,73	0,00	0,87	1,00
0,1	59	75	0	16	0,79	0,00	0,89	1,00
0,11	60	74	1	15	0,80	0,01	0,89	0,99
0,12	65	70	5	10	0,87	0,07	0,90	0,93
0,13	67	58	17	8	0,89	0,23	0,83	0,77
0,14	67	44	31	8	0,89	0,41	0,74	0,59
0,15	70	23	52	5	0,93	0,69	0,62	0,31
0,16	71	8	67	4	0,95	0,89	0,53	0,11
0,17	71	3	72	4	0,95	0,96	0,49	0,04
0,18	71	2	73	4	0,95	0,97	0,49	0,03
0,19	71	1	74	4	0,95	0,99	0,48	0,01
0,2	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00

0,21	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00
0,22	71	0	75	4	0,95	1,00	0,47	0,00

Çizelge Ek-1.11 HOG Eşik Değerine Bağlı Sistem Performans Değerleri

Th	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,01	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,02	0	75	0	75	0,00	0,00	0,50	1,00
0,03	1	75	0	74	0,01	0,00	0,51	1,00
0,04	5	75	0	70	0,07	0,00	0,53	1,00
0,05	23	75	0	52	0,31	0,00	0,65	1,00
0,06	40	75	0	35	0,53	0,00	0,77	1,00
0,07	54	75	0	21	0,72	0,00	0,86	1,00
0,08	57	75	0	18	0,76	0,00	0,88	1,00
0,09	64	74	1	11	0,85	0,01	0,92	0,99
0,1	67	66	9	8	0,89	0,12	0,89	0,88
0,11	71	50	25	4	0,95	0,33	0,81	0,67
0,12	72	28	47	3	0,96	0,63	0,67	0,37
0,13	72	11	64	3	0,96	0,85	0,55	0,15
0,14	72	7	68	3	0,96	0,91	0,53	0,09
0,15	73	2	73	2	0,97	0,97	0,50	0,03
0,16	73	2	73	2	0,97	0,97	0,50	0,03
0,17	73	0	75	2	0,97	1,00	0,49	0,00
0,18	73	0	75	2	0,97	1,00	0,49	0,00
0,19	73	0	75	2	0,97	1,00	0,49	0,00

Çizelge Ek-1.12 Maksimum Doğruluk İçin Toplam Sistem Performansı

HOGTh	LBPTTh	TP	TN	FP	FN	TPR	FPR	ACC	SPEC
0.09	0.12	68.00	70.00	5.00	7.00	0.91	0.07	0.92	0.93

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Mustafa CÖMERT

Doğum Tarihi: 24/09/1989

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri	Selim Nevzat Şahin AL	2008-2012
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Anadolu Üniversitesi	2017-2012
Yüksek Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Osmangazi Üniversitesi	2012-2013
Yüksek Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Mersin Üniversitesi	2013-

Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Donanım Müh.	C2TECH Bilişim Teknolojileri San. Ltd. Şti.	2012-2013
Arş. Gör.	Mersin Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh.	2013-

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)