



# **MOBİL PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ**

**Mehtap ÜLKER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2018**

Mehtap ÜLKER tarafından hazırlanan “MOBİL PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi. Ahmet Murat ÖZBAYOĞLU

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi. Uraz YAVANOĞLU

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 07/12/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehtap ÜLKER

20.11.2018

MOBİL PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Mehtap ÜLKER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2018

ÖZET

Günümüzde parmak izi tanıma sistemleri güvenlik gereksinimine ihtiyaç duyulan birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin performansı, parmak izi kalitesine bağlı olup parmak izi kalitesi de parmağın yaralanması, kesik, nemli ya da kuru olması gibi pek çok etkene bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle literatürdeki çalışmalarda, parmak izini iyileştirmek için yeni yaklaşımlar önerilmiş ve özellikle son yıllarda mobil cihazlar bu konuda dikkat çekmiştir. Mobil cihaz ve ortamlara olan ilgi, yüksek kalitede fotoğraf çekilmesi, mobilite ve başka ortam ve cihazlarla kolay bağlantı sebebiyle artmıştır. Daha spesifik olarak, cihazların biyometrik görüntü çekimi için tasarlanması ve kullanılması yeni fikir ve düşüncelerin de bu alana uygulanması fikrini desteklemektedir. Tez kapsamında, mobil cihaz ile parmak izi görüntü çekiminde karşılaşılan temel problemler belirlenmiş olup bu problemleri çözmek için bir prototip tasarlanmış ve yeni bir mobil parmak izi tanıma sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin performansı, tez kapsamında iki farklı alım yöntemi ile toplanmış parmak izleriyle ve FVC 2004 veri setindeki parmak izlerle test edilmiştir. Geliştirilen mobil parmak izi tanıma sisteminin %96.15 ile parmak izlerini tanımladığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 92411  
Anahtar Kelimeler : Biyometri, parmak izi iyileştirme, mobil parmak izi, temassız yöntemler  
Sayfa Adedi : 99  
Danışman : Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

# MOBILE FINGERPRINT IDENTIFICATION SYSTEM

(M. Sc. Thesis)

Mehtap ULKER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2018

## ABSTRACT

Nowadays, fingerprint recognition systems are widely used in many areas where security requirements are needed. The performance of the systems depends on fingerprint quality, and the factors such as injury, cut, to be wet or dry of finger and variability of ambient conditions. Because of that new approaches have been suggested to enhance fingerprint images in the literature and especially in recent years, mobile devices have attracted attention in this regard. The interest in having mobile devices and environments has increased due to taking high-quality photos, mobility or easy connection to other media and devices. More specifically, to be designed and used of devices for biometric image acquisition supports the idea of applying this field to new ideas and thoughts. Within the scope of the thesis, the basic problems encountered in capturing fingerprint images with mobile devices were initially determined and a prototype was designed to solve and handle these problems and a new mobile fingerprint recognition system was designed and the performance of the system was finally tested with the fingerprints collected with two different reception methods within the scope of the thesis and FVC 2004 dataset. The result of the developed mobile fingerprint recognition system was shown that the recognition was achieved with 96.15% accuracy.

Science Code : 92411  
Key Words : Biometrics, fingerprint, mobile fingerprint, touchless method  
Page Number : 99  
Supervisor : Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyuncaengin bilgi ve tecrübesini hoşgörü ve sabırla benimle paylaşan, disiplinli çalışması ve yol göstericiliğini her zaman örnek alacağım çok değerli hocam Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU'na, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım sevgili arkadaşım Bilgehan ARSLAN'a, desteği ile her zaman yanımda olan çok değerli dostum Meryem TAŞKESEN'e, maddi ve manevi destekleriyle hiçbir zaman beni yalnız bırakmayan canım babam Mehmet ÜLKER'e, annem Tülay ÜLKER'e, kardeşlerim Fatma ÜLKER, Nazife ÜLKER ve Mustafa ÜLKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

|                                                       | Sayfa |
|-------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                            | iv    |
| ABSTRACT .....                                        | v     |
| TEŞEKKÜR .....                                        | vi    |
| İÇİNDEKİLER .....                                     | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....                            | xi    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                              | x     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                         | xiii  |
| 1.GİRİŞ.....                                          | 1     |
| 2. BİYOMETRİK SİSTEMLER .....                         | 5     |
| 2.1. Biyometrik Karakteristikler .....                | 5     |
| 2.1.1. Parmak izi .....                               | 6     |
| 2.1.2. El geometrisi .....                            | 6     |
| 2.1.3. Ses .....                                      | 6     |
| 2.1.4. Yüz .....                                      | 7     |
| 2.1.5. DNA .....                                      | 7     |
| 2.1.6. İris .....                                     | 7     |
| 2.1.7. İmza .....                                     | 8     |
| 2.2. Biyometrik Sistemlerin Çalışma Prensipleri ..... | 9     |
| 2.2.1. Doğrulama modu .....                           | 10    |
| 2.2.2. Tanıma modu .....                              | 11    |
| 2.3. Biyometrik Sistemlerin Kullanım Alanları .....   | 11    |
| 3. PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMLERİ .....                 | 13    |
| 3.1. Parmak İzi Yapısı ve Özellikleri .....           | 13    |

**Sayfa**

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.1. Global karakteristikler .....                                    | 13        |
| 3.1.2. Yerel karakteristikler .....                                     | 15        |
| 3.1.3. Yapısal karakteristikler .....                                   | 16        |
| 3.2. Parmak İzi Alım Yöntemleri .....                                   | 16        |
| 3.2.1. Temaslı ve temassız parmak izi alım yöntemleri .....             | 17        |
| 3.3. Parmak izi İyileştirme Yöntemleri .....                            | 24        |
| 3.3.1. Segmentasyon .....                                               | 25        |
| 3.3.2. Normalizasyon .....                                              | 27        |
| 3.3.3. Filtreleme .....                                                 | 28        |
| 3.4. Parmak İzi Özellik Çıkarımı ve Eşleştirme .....                    | 34        |
| 3.5. Sistem Performansı Kriterleri .....                                | 37        |
| <b>4. ÖNERİLEN PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ .....</b>                      | <b>40</b> |
| 4.1. Literatür Taraması .....                                           | 41        |
| 4.2. Mobil Parmak İzi Tanıma Sistemlerinde Karşılaşılan Zorluklar ..... | 49        |
| 4.2.1. Işık kaynağı .....                                               | 50        |
| 4.2.2. Arka plan bölgesi .....                                          | 52        |
| 4.2.3. Çözünürlük.....                                                  | 53        |
| 4.2.4. Parmak ile kamera arası mesafe .....                             | 56        |
| 4.3. Veri Edinim Aşaması Tasarımı .....                                 | 57        |
| 4.3.1. Makro özellik kullanımı .....                                    | 58        |
| 4.3.2. Parmak ile kamera arası mesafenin belirlenmesi .....             | 59        |
| 4.3.3. Işık kaynağı seçimi .....                                        | 62        |
| 4.3.4. Arka plan bölgesi ve parmak giriş alanın sabitlenmesi .....      | 64        |
| 4.4. Görüntü Analiz Aşaması Tasarımı .....                              | 67        |

**Sayfa**

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.1. Segmentasyon aşaması tasarımı .....                                        | 67 |
| 4.4.2. Normalizasyon aşaması tasarımı .....                                       | 68 |
| 4.4.3. Filtreleme aşaması tasarımı .....                                          | 72 |
| 4.5. Mobil Parmak İzi Tanıma Sistemi Tasarımı Uygulaması .....                    | 75 |
| 4.5.1. İyileştirme aşamasının oluşturulması .....                                 | 76 |
| 4.5.2. Source AFIS algoritmasının kullanılması .....                              | 77 |
| 4.5.3. Veritabanına özelliklerin kaydedilmesi ve tanımanın gerçekleştirilmesi.... | 77 |
| 4.6. Mobil Parmak izi Tanıma Sistemi Performansının Değerlendirilmesi .....       | 80 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                     | 85 |
| KAYNAKLAR .....                                                                   | 91 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                    | 99 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                               | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Biyometrik teknolojilerin karşılaştırılması Y:Yüksek O:Orta D:Düşük .... | 9     |
| Çizelge 3.1. Literatürde parmak izi iyileştirme çalışmaları .....                     | 19    |
| Çizelge 3.2. Parmak izi alım yöntemlerine göre karşılaşılan problemler .....          | 22    |
| Çizelge 3.3. Parmak izi alım yöntemine göre segmentasyon yaklaşımları .....           | 26    |
| Çizelge 3.4. Parmak izi alım yöntemine göre normalizasyon yaklaşımları .....          | 28    |
| Çizelge 4.1. Mobil parmak izi tanıma sistemleri ile ilgili literatür taraması .....   | 48    |
| Çizelge 4.2. Işık kaynağı renkleri ve dalga boyu aralığı .....                        | 62    |
| Çizelge 4.3. Parmak izi kabul ve reddedilme sayıları .....                            | 82    |
| Çizelge 4.4. Parmak izi değerlendirme ve karşılaştırma sonuçları-1.....               | 83    |
| Çizelge 4.5. Parmak izi değerlendirme ve karşılaştırma sonuçları-2.....               | 83    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                         | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. İkizlere ait parmak izlerinin ayırt ediciliği .....                | 6     |
| Şekil 2.2. Biyometrik karakteristiklerin kullanım oranları .....              | 8     |
| Şekil 2.3. Biyometrik sistemlerin çalışma prensibi .....                      | 9     |
| Şekil 3.1. Parmak izi yapısı.....                                             | 13    |
| Şekil 3.2. Parmak izi global karakteristikler .....                           | 14    |
| Şekil 3.3. Parmak izi ayrıntı noktaları .....                                 | 16    |
| Şekil 3.4. Parmak izi yapısal karakteristikler .....                          | 16    |
| Şekil 3.5. Parmak izi alım yöntemleri .....                                   | 17    |
| Şekil 3.6. Sayısal görüntü örneği .....                                       | 24    |
| Şekil 3.7. Parmak izi iyileştirme aşamaları.....                              | 25    |
| Şekil 3.8. Parmak izi görüntüsüne filtreleme işleminin uygulanma süreci ..... | 29    |
| Şekil 3.9. Parmak izi görüntüsünden yön bilgisi çıkarımı .....                | 31    |
| Şekil 3.10. Parmak izi görüntüsünden frekans bilgisi çıkarımı .....           | 31    |
| Şekil 3.11. Görüntü ikileştirme maskesi .....                                 | 33    |
| Şekil 3.12. Parmak izi özellik çıkarım aşaması .....                          | 35    |
| Şekil 3.13. FAR, FRR ve EER değerlerinin hesaplanması .....                   | 39    |
| Şekil 4.1. Kamera ile elde edilen parmak izi görüntüleri .....                | 50    |
| Şekil 4.2. Doğal ışık kaynağına maruz kalan parmak izi görüntüsü .....        | 50    |
| Şekil 4.3. Kapalı ve aydınlık ortamdaki parmak izi görüntüleri .....          | 51    |
| Şekil 4.4. Arka plan bölgesi sabit olmayan parmak izi görüntüleri .....       | 52    |
| Şekil 4.5. Arka plan bölgesi değişken olan parmak izi görüntüleri .....       | 52    |
| Şekil 4.6. Mobil cihazla elde edilen görüntülerin yakınlaştırılması .....     | 53    |
| Şekil 4.7. Diyafram açıklığı .....                                            | 54    |

| <b>Şekil</b>                                                                               | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 4.8. Aynı ortam koşullarında çekilmiş parmak izi görüntüleri .....                   | 55           |
| Şekil 4.9. Parmağın farklı uzaklıklarda çekimi .....                                       | 55           |
| Şekil 4.10. Parmak ile kamera açısına bağlı ayrıntı noktalarının görünürlüğü .....         | 57           |
| Şekil 4.11. Geliştirilen prototip tasarımı ve mobil parmak izi alma cihazı .....           | 58           |
| Şekil 4.12. Parmak ile sensör arası mesafenin değişmesi .....                              | 61           |
| Şekil 4.13. Mobil parmak izi görüntülerinin farklı ışık kaynakları ile test edilmesi ..... | 63           |
| Şekil 4.14. Işık kaynağını konumlandırma örnekleri .....                                   | 63           |
| Şekil 4.15. Işık kaynağının geliş açısına göre parmak izi görüntüleri .....                | 64           |
| Şekil 4.16. Mobil parmak izi görüntülerine uygulanan segmentasyon yaklaşımı .....          | 66           |
| Şekil 4.17. Tez kapsamında uygulanan segmentasyon yöntemi aşaması ve çıktısı .....         | 66           |
| Şekil 4.18. Mobil parmak izi görüntüsüne normalizasyon yöntemlerinin uygulanması..         | 68           |
| Şekil 4.19. CLAHE yönteminde görüntünün histogram bilgisinin kırılması .....               | 70           |
| Şekil 4.20. Mobil parmak izi görüntüsüne CLAHE yönteminin uygulanması .....                | 72           |
| Şekil 4.21. STFT ile filtreleme aşaması .....                                              | 73           |
| Şekil 4.22. Mobil parmak izi görüntülerine STFT ile filtrelemenin uygulanması .....        | 75           |
| Şekil 4.23. Mobil parmak izi tanıma sistemi akış diyagramı .....                           | 76           |
| Şekil 4.24. Mobil parmak izi tanıma sistemi arayüzü .....                                  | 79           |
| Şekil 4.25. Mobil parmak izi tanıma sistemi kayıt ve tanıma aşaması .....                  | 80           |
| Şekil 4.26. Mobil ve optik parmak izi görüntülerinin eşleştirilmesi .....                  | 84           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler          | Açıklamalar                                              |
|-------------------|----------------------------------------------------------|
| $\partial_x(i,j)$ | (i,j) merkezli pikselin x yönündeki gradyan değeri       |
| $\partial_y(i,j)$ | (i,j) merkezli pikselin y yönündeki gradyan değeri       |
| $V_x(i,j)$        | (i,j) merkezli bloğun açısının x yönündeki değeri        |
| $V_y(i,j)$        | (i,j) merkezli bloğun açısının y yönündeki değeri        |
| $V_z(i,j)$        | (i,j) merkezli bloğun açısının z yönündeki değeri        |
| $\Phi_x(i,j)$     | (i,j) merkezli bloğun x yönündeki vektörel açı değeri    |
| $\Phi_y(i,j)$     | (i,j) merkezli bloğun y yönündeki vektörel açı değeri    |
| $\theta'(i,j)$    | (i,j) noktasında tepe çizgisinin düzgünleştirilmiş açısı |
| $P(i,j)$          | (i,j) merkezli pikselin yoğunluk değeri                  |
| $PP_{BW}$         | Bant genişliği                                           |
| $Q_{BW}$          | Açısal bant genişliği                                    |

| Kısaltmalar | Açıklamalar                                 |
|-------------|---------------------------------------------|
| AFIS        | Otomatik Parmak İzi Tanıma Sistemi          |
| AFD         | Ayrık Fourier Dönüşümü                      |
| API         | Uygulama Programlama Arayüzü                |
| CLAHE       | Kontrast Sınırlı Adaptif Histogram Eşitleme |
| DB          | Veritabanı                                  |
| DFT         | Ayrık Fourier Dönüşümü                      |
| DNA         | Deoksiribo Nükleik Asit                     |
| EER         | Eşit Hata Oranı                             |
| FAR         | Yanlış Kabul Oranı                          |
| FF          | Frekans Alanı                               |
| FFT         | Hızlı Fourier Dönüşümü                      |
| FRR         | Yanlış Reddetme Oranı                       |

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

|             |                                           |
|-------------|-------------------------------------------|
| <b>FVC</b>  | Parmak İzi Doğrulama Yarışması            |
| <b>MPTS</b> | Mobil Parmak İzi Tanıma Sistemi           |
| <b>MSS</b>  | Ortalama Kayma Segmentasyon               |
| <b>NIST</b> | Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü |
| <b>OF</b>   | Yön Alanı                                 |
| <b>OPTS</b> | Otomatik Parmak İzi Tanıma Sistemi        |
| <b>PC</b>   | Faz Uyuşması                              |
| <b>PCA</b>  | Temel Bileşen Analizi                     |
| <b>RGB</b>  | Kırmızı Mavi Yeşil                        |
| <b>SDK</b>  | Yazılım Geliştirme Kiti                   |
| <b>STFT</b> | Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü             |
| <b>SURF</b> | Hızlandırılmış Sağlam Özellikler          |
| <b>UV</b>   | Morötesi                                  |

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte; ekonomik, sağlık vb. alanlarda kişi kimliğinin belirlenmesi güvenlik problemlerine yol açmaktadır. Bu nedenle, birçok kurum ve kuruluş güvenlik ihtiyaçlarının karşılanması için her bireyde bulunan ve kişiye özgü davranışsal ve fiziksel karakteristiklerle bireyi tanımaya yarayan biyometrik yaklaşımlardan yararlanmaktadır. Bu alanlarda biyometrinin tercih edilmesindeki temel nedenler; ayırt ediciliğin yüksek olması, eşsiz ve değişmez olması, aynı zamanda bu verilerin unutulma ve kaybolma gibi olumsuz durumlara maruz kalmaması olarak sıralanabilmektedir [2, 3]. Biyometrik veriler arasında parmak izleri; ayırt ediciliği yüksek, elde edilme maliyeti düşük ve az yer kaplama özelliği bakımından en çok tercih edilen tanımlayıcı olup özellikle yüksek güvenlik gerektiren uygulama alanlarında, suçlu ve mağdur tespitinde, dolandırıcılık vb. durumlarda olayların aydınlatılması amacıyla kullanılmaktadır [4-6]. Parmak izi, birçok uygulama alanlarında yüksek güvenlik sağlaması bakımından oldukça önemli bir karakteristiktir.

Biyometrik sistemlerin çalışma mantığı gereğince parmak izleri, veri edinim, görüntü analiz, özellik çıkarımı ve çıkarılan özelliklerin eşleştirmesi olmak üzere dört aşamada tanınmaktadır. Birbirleriyle bağlantılı olan bu aşamalardan en önemlisi veri edinim olarak bilinmektedir [2-3]. Veri edinimde parmak izi görüntüsünün kaliteli elde edilmesi diğer aşamaları kolaylaştırarak tanıma sürecinin başarıyla gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Ancak veri edinim aşamasında; kullanılan teknik ve yöntemler, parmaktaki kesik ve yaralanma, derinin elastikiyetini kaybetmesi gibi durumlar parmak izi görüntüsünün kaliteli olarak elde edinimini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle literatürdeki çalışmalarda, parmak izinin kaliteli olarak elde edilmesi için veri edinim aşamasında kullanılan alım yönteminin değiştirildiği ve görüntü analiz aşamasında bir dizi iyileştirme yaklaşımlarının uygulandığı görülmektedir [7-19]. Bu yaklaşımlar ile uygulanan alım yöntemlerinde karşılaşılan problemler giderilmekte ve parmak izinin kaliteli bir şekilde toplanması bakımından tanıma sistemlerinde olumlu sonuçlar elde edilmektedir [20, 22, 23, 73]. Bu amaçla kullanılan alım yöntemleri kendi içerisinde temaslı ve temassız olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu yöntemlerin her ikisi de, görüntü kalitesini etkileyen bir takım unsurları giderirken beraberinde birçok probleme neden olmaktadır. Bu problemler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Derinin elastikiyetinin azalması ile parmak izinde doğrusal olmayan bozukluklara neden olması,
- Parmağın sensöre az ya da fazla basımına bağlı olarak görüntü kontrastının değişkenliği,
- Parmağın üzerindeki toz, pislik gibi unsurların varlığı,
- Parmağın ıslak ya da kuru olması,
- Sensörde bir önceki parmak izi alımından kalan izlerin olması,
- Ortamdaki ışık kaynağının değişkenliği ile detaylı görüntünün elde edilememesi ve
- Kameranın teknik özelliklerine (odaklama, çözünürlük, odak uzaklığı vb.) bağlı olarak parmak izi görüntülerinin bulanık olmasıdır.

Akademik çalışmalar değerlendirildiğinde, temaslı alım yöntemlerindeki görüntü kalitesini etkileyen problemlere temassız alım yöntemlerinde rastlanmadığı görülmüştür. Fakat temassız alım yöntemleri birçok problemi de beraberinde getirerek detaylı ve ayrıntılı parmak izi görüntüsünün elde edimini zorlaştırmaktadır [8-19]. Temassız alım yönteminde karşılaşılan problemlerin ise üç boyutlu teknolojiler ya da profesyonel fotoğraf makinaları ile çözülebileceği görülmüş, ancak bu cihazların maliyetinin yüksek ve kullanımının pratik olmaması bu tarz cihazların kullanım alanlarını kısıtladığı için literatürdeki çalışmalarda kullanım oranı hızla artan mobil cihazlar ile parmak izi görüntüsü elde edinimine yöneldiği görülmüştür [20-23].

Son zamanlarda, mobil cihazların çoğunun kamera çözünürlüğünün 5 mega-pikselden daha yüksek olması ve gelişen teknoloji ile birlikte bu cihazların kamera çözünürlüğünün daha da artması parmak izi görüntülerinin mobil cihazlar ile elde edilme fikrini beraberinde getirmiştir [23]. Ancak bu cihazlar biyometrik veri çekme amacıyla tasarlanmadığından parmak izi görüntülerinde tanıma sistemini zorlaştıran bulanıklık, ölçekleme, karmaşık arka plan gibi bir takım problemlere neden olmaktadır. Literatürde, bu problemlerin [1, 20, 21];

- Ortamdaki ışık kaynaklarının kontrol edilememesinden,
- Kameranın teknik özelliklerine (çözünürlük, odaklama, bit derinliği, alan derinliği) bağımlı olmasından,
- Kamera ile parmak arası mesafenin değişken olmasından ve
- Parmağın ani hareketinden kaynaklandığı görülmüştür.

Bu problemlere bağılı olarak, mobil cihaz ile detaylı, ayrıntılı ve kaliteli parmak izi görüntüsünün elde edinimi zorlaşmaktadır. İrdelenen çalışmalarında, bu problemlerin giderilmesi için farklı çözüm önerileri sunulmuş; ortam, cihazın ışık kaynağı ya da harici bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış [11], parmak ile kamera arası mesafenin değişkenliği görüntüde odaklama, ölçekleme ve bulanıklık sorununa neden olduğu için [20, 23-24] kamera ile parmak arası uzaklık sabit tutulmuş ya da görüntü analiz aşamasında ölçekleme yapılmıştır. Bunların yanı sıra, parmak izi görüntüsünün mobil cihazların makro özelliğinden yararlanılarak elde edildiği görülmüştür [11]. Fakat makro özellik, günümüz mobil cihazların çoğunda bulunan bir özellik değildir. Bu unsurlar göz önünde bulundurulduğunda detaylı, ayrıntılı ve kaliteli parmak izi görüntüsünü mobil cihazlar ile çekebilmek için veri alım yönteminin standardize edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, temaslı ve temassız alım yöntemlerinin avantajlarını bir arada bulunduran düşük maliyet ile parmak izi görüntüsünün mobil cihaz ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, mobil parmak izi görüntüsünde karşılaşılan problemler belirlenmiş ve bu problemleri ortadan kaldıran bir prototip geliştirilmiştir. Geliştirilen prototipte, ortam parmak yüzeyine dik bir açıyla homojen olarak yansıyan beyaz ya da sarı ışık kaynağı ile aydınlatılmış, parmağın kameraya olan uzaklığı sabitlenmiş, detaylı ve ayrıntılı görüntü çekimi için harici makro özellik kullanılmış, ortam siyahlaştırılmış, arka plan bölgesi ve parmak giriş alanı sabitlenmiş bir yapı ile mobil parmak izi görüntüsü çekilmiştir. Geliştirilen prototip ile elde edilen parmak izlerinin performansının değerlendirilmesi için tanıma sistemi tasarımı yapılmış ve tasarlanan sistemin başarımını göstermek amacıyla, biyometrik tanıma sistemlerinin performansını değerlendirilmesinde en sık kullanılan FAR ve FRR oranları ile sistem doğrulama oranı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda mobil cihaz ile elde edilen görüntülerde sistem performansı; FAR %0.0001, FRR %0.03 olduğu ve sistemin %96.15 oranında parmak izlerini tanımladığı görülmüştür. Aynı zamanda tasarlanan sistemin performansı; optik sensör ile toplanan parmak izi görüntülerine göre değerlendirilmiştir. Bunun için hem tez kapsamında optik sensörle toplanan izlerle, hem de optik sensörle toplanan FVC 2004 veri setindeki izlerle sistem performansı hesaplanmış, sırasıyla FAR %0.0015, FRR %0.48, FAR %0.001, FRR %0.57 oranları elde edilmiş ve geliştirilen sistemin mobil cihazla elde edilen görüntülerde performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Tasarlanan sistem ile yalnızca mobil parmak izi görüntüleri değil, aynı zamanda mobil cihaz ve optik sensörden elde edilen parmak izi görüntüsünün birbirleriyle eşleştirilmesi için esnek bir yapıda tasarlanmıştır.

Dolayısıyla tasarlanan sistem, temaslı ya da temassız parmak izi alım yaklaşımlarına bir alternatif olmasının yanı sıra mobil ile optik görüntüleri eşleştirmesi bakımından olay yeri gibi kritik alanlardaki kimlik tespit sürecini hızlandırması için bir altyapı oluşturmaktadır.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Tez kapsamında; 2. bölümde biyometrik sistemler, biyometrik karakteristikler ve biyometrik sistemlerin çalışma prensipleri üzerinde durulmuştur. 3. bölümde biyometrik karakteristikler arasında en yaygın kullanılan parmak izi yapısı, karakteristikleri, alım yöntemleri, parmak izi iyileştirme yaklaşımları detaylı incelenmiştir. 4. Bölümde, mobil parmak izi tanıma sistemi tasarımı için literatür araştırması yapılmış, mobil cihaz ile parmak izi elde edinimindeki zorluklar göz önünde bulundurularak bir prototip geliştirilmiş, iyileştirme süreci tasarlanmış ve tanıma sistemi performansı test edilmiştir. 5. bölümde ise tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular ve katkılar ile çalışmanın literatüre kazandırdıkları açıklanmış ve bazı öneriler sunulmuştur.

Bu tez kapsamında incelenen ve yapılan çalışmalarda kullanılan biyometrik veriler, Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu'nun 09.10.2018 tarih ve 2018-388 sayılı kararı kapsamında toplanmıştır.

## 2. BİYOMETRİK SİSTEMLER

Teknolojinin hızlı gelişmesiyle birlikte biyometrik sistemlere duyulan önem gittikçe artmaktadır. Biyometrik sistemler, sahip olduğu özellikler ile isteklere hızlı cevap vermesi bakımından güvenlik gereksinimine ihtiyaç duyulan alanlarda yaygın kullanılmaktadır. Bu sistemlerin temel amacı, kişinin ayırt edici karakteristikleri (yüz, DNA, iris, parmak izi, avuç içi izi, retina vb.) ile kimlik doğrulama ya da tanıma işlemlerini güvenilir bir şekilde gerçekleştirmektedir. Biyometrik tanıma olarak ifade edilen bu yaklaşım; klasik güvenlik yaklaşımlarındaki unutulma ve kaybolma gibi olumsuz durumları ortadan kaldırmakta ve sistemleri daha güvenilir kılmaktadır [2, 3].

Biyometrik tanıma, herhangi bir kişinin fizyolojik ya da davranışsal özellikleri ile kişinin otomatik olarak tanınması işlemidir [2]. Fizyolojik karakteristikler; yüz, retina, iris, parmak izi, avuç içi izi, el geometrisi, DNA vb. özellikleri; davranışsal karakteristikler ise imza, klavye tuş basım tarzı, ses, yürüyüş biçimi, mimik gibi özellikleri içermektedir. Biyometrik tanıma sürecinde, bu karakteristiklerin tanımlayıcı olarak kullanılması için aşağıdaki özellikleri içermesi gerekmektedir [2-3].

- Evrensellik, her insanda var olması,
- Ayırt edicilik, bireye özgü olması,
- Süreklilik, zaman içinde geçerliğini yitirmemesi,
- Elde edilebilirlik, karakteristiklerin alınabilir ve ölçülebilir olmasıdır.

Biyometrik karakteristikler, ancak yukarıda maddeler halinde verilen şartları sağlaması durumunda tanımlayıcı olarak kullanılmaktadır. Bu şartların yanı sıra, performans, kabul edilebilirlik ve güvenilirlik özelliklerini de sağlaması sistemleri daha güvenilir ve verimli kılmaktadır [2].

### 2.1. Biyometrik Karakteristikler

Biyometrik karakteristikler, fiziksel ve davranışsal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [2]. Tanıma sistemlerinde, yaygın kullanılan fiziksel ve davranışsal biyometrik karakteristikler aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmaktadır.

### 2.1.1. Parmak izi

Parmak izi, kişinin kimliğinin tespit edilmesinde en eski tekniklerden biridir [4]. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, parmak izi yalnızca suçlu tespitinde değil erişim denetimi, personel takip sistemleri, ATM'ler, sağlık uygulamaları, telefon ve bilgisayar girişi gibi birçok güvenlik gereksinimine ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmaktadır [25]. Bu karakteristiği cazip kılan unsurlar; ayırt ediciliğinin yüksek, rahat elde edilebilmesi, kullanım kolaylığı ve veritabanında az yer kaplaması olarak sıralanabilmektedir [3]. Şekil 2.1'de, ikizlerin dahi parmak izleri birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1. İkizlere ait parmak izlerinin ayırt ediciliği [3]

### 2.1.2. El geometrisi

El geometrisi, kişinin elinin geometrik formundan faydalanarak kişiyi tanımlamada kullanılır. El geometrisiyle tanımda kullanılan ayırt edici özellikler; parmakların şekli, kalınlığı, avuç içi ölçütüdür. Tanımda yüksek doğruluk garanti etmemesine rağmen kolay elde edilebilir olması, kullanım kolaylığı ve diğer biyometrik sistemlerle uyumlu olması bu teknolojiyi cazip kılmaktadır [26] .

### 2.1.3. Ses

Ses, davranışsal biyometrik karakteristiktir. Ses ile tanımanın maliyeti yüksek değildir. Bu bakımdan kullanışlı bir teknolojidir. Her bilgisayarın mikrofona sahip olması sesin diğer biyometrik karakteristikler arasında ön plana çıkmasına neden olabilir. Fakat gürültü, stres, heyecan gibi nedenlerden dolayı sesteki değişimler tanımadaki doğruluk oranını etkilemektedir [2].

#### 2.1.4. Yüz

Yüz, her insanın farklı ve benzersiz yaratılışına sahip olması nedeniyle tanıma sistemleri için kullanışlı biyometrik karakteristiklerdendir. Yüz tanıma sistemleri, insan yüzünün belirli kısımlarını analiz ederek veritabanına kaydedip daha sonra tanıma aşamasında kayıtlı veriler ile giriş verisi karşılaştırarak karar verme işlemini gerçekleştiren sistemlerdir. Yüz tanıma, örüntü tanıma ve görüntü analiz yöntemlerinin başarılı bir uygulamasıdır. Yüz tanıma sistemi diğer biyometrik sistemlerde olduğu gibi erişim kontrolü, personel takip sistemleri, turnike geçişleri olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Maliyeti düşük olmasına rağmen çevresel değişimler, makyaj, saç, gözlük kullanımı gibi unsurlar tanıma başarısını etkilemektedir [27].

#### 2.1.5. DNA

Kişinin genetik bilgisinin tamamının yer aldığı DNA (Deoxyribo Nucleic Acid), tanıma için yüksek güvenlik sağlayan biyometrik karakteristiklerdendir. Tanıma işlemi, DNA moleküllerindeki dizilim eşleşmesine göre gerçekleşir. Fakat DNA eşleştirilmesi için mevcut teknolojiler külfetli kimyasal yöntemler gerektirmektedir. Aynı zamanda bu sistemler, kimyasal yöntemlerle analiz etmek için uzman becerisi ve bilgisi gerektiren çevrimiçi müdahale edilmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla gerçek zamanlı tanıma sistemleri için sorun teşkil etmektedir. Maliyeti yüksek ve işlem süresi uzun bir teknoloji olması da bu tanımlayıcının dezavantajıdır [2, 28].

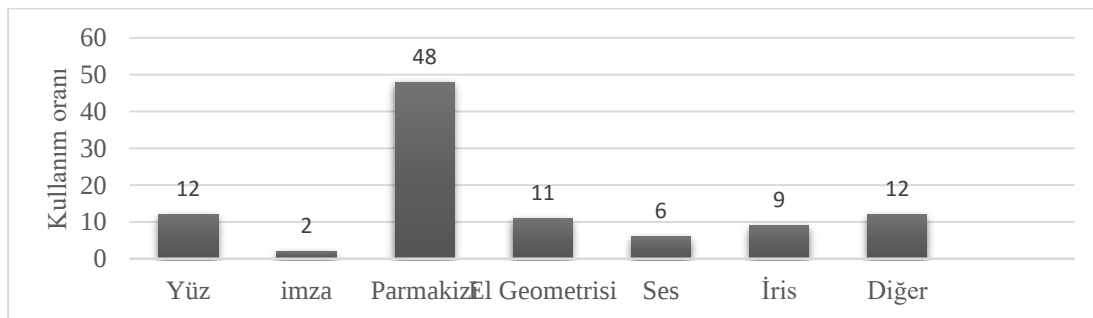
#### 2.1.6. İris

İris, göz bebeği ile beyaz kısım arasında bulunan renkli bölümdür. İris yapısı anne karnında oluşmaya başlar birey iki yaşına kadar oluşmaya devam eder. Tanıma sistemleri için ayırt edici özelliği yüksektir. Parmak izi gibi iris de her insanda farklılık göstermektedir. İkizlerde dahi iris yapısı birbirlerinden farklıdır. Aynı zamanda kayıt ve doğrulama aşamasında iris ile doğrudan temas olmaması ve tahrip edilememesi bu karakteristiği cazip kılmaktadır. İris biyometrik karakteristikle tanımanın başarı oranı yüksektir. Fakat maliyeti yüksek bir teknolojidir [2, 28].

### 2.1.7. İmza

Davranışsal biyometrik karakteristiklerden olan imza, insanın el yazısını kullanarak tanımaya yarayan biyometrik karakteristiktir. Bu biyometrik karakteristiği kullanan tanıma imzalama süresi, hızı, ivmesi, kalemin basım şiddeti vb. unsurlar göz önünde bulundurularak tanıma işlemi gerçekleştirilir. İmza, kişinin o anki fiziksel ve duygusal durumuna göre farklılık göstermektedir. Dolayısıyla bu durum doğrulama başarısını etkilemektedir. Aynı zamanda imzanın taklit edilmesi kolay olması bakımından yüksek güvenlik gerektiren alanlarda kullanımı uygun değildir [2, 28].

Çizelge 2.1’de yaygın kullanılan biyometrik karakteristikler, bir takım kriterlere göre yüksek, orta ve düşük düzeyde olması bakımından karşılaştırılmıştır. Bu çizelgeden görülmektedir ki parmak izi diğer biyometrik karakteristikler arasında belirtilen özelliklere göre üstün durumdadır. Parmak izinin diğer karakteristiklere göre üstün durumda olmasında; eşsizliğinin, kalıcılığının ve performansının yüksek olması önemli kriterlerdir. Bununla birlikte, saklandığında az yer kaplaması ve elde edilebilirliğinin rahat olması yani kişinin istem dışı da olsa dokunduğu her yerde iz bırakması ve gelişen teknoloji ile birlikte bu parmak izlerin rahat toplanabilmesi de parmak izinin kullanımını cazip kılmaktadır. Canlı tarama teknikleriyle parmak izi görüntüsünün rahatlıkla alınıp analiz edilebilmesi ve bunu maliyeti düşük ve küçük cihazlarla dahi rahatlıkla gerçekleştirilebilmesi bu karakteristiğin güvenlik gereksinimi olan alanlarda daha çok kullanılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla biyometrik tanıma sistemlerinde parmak izi diğer karakteristiklere göre daha fazla kullanılmasına neden olmaktadır. 2004 yılında yürütülen bir çalışmada da (Şekil 2.2) parmak izinin, %48 kullanım oranıyla en çok tercih edilen biyometrik karakteristik olduğu görülmektedir.



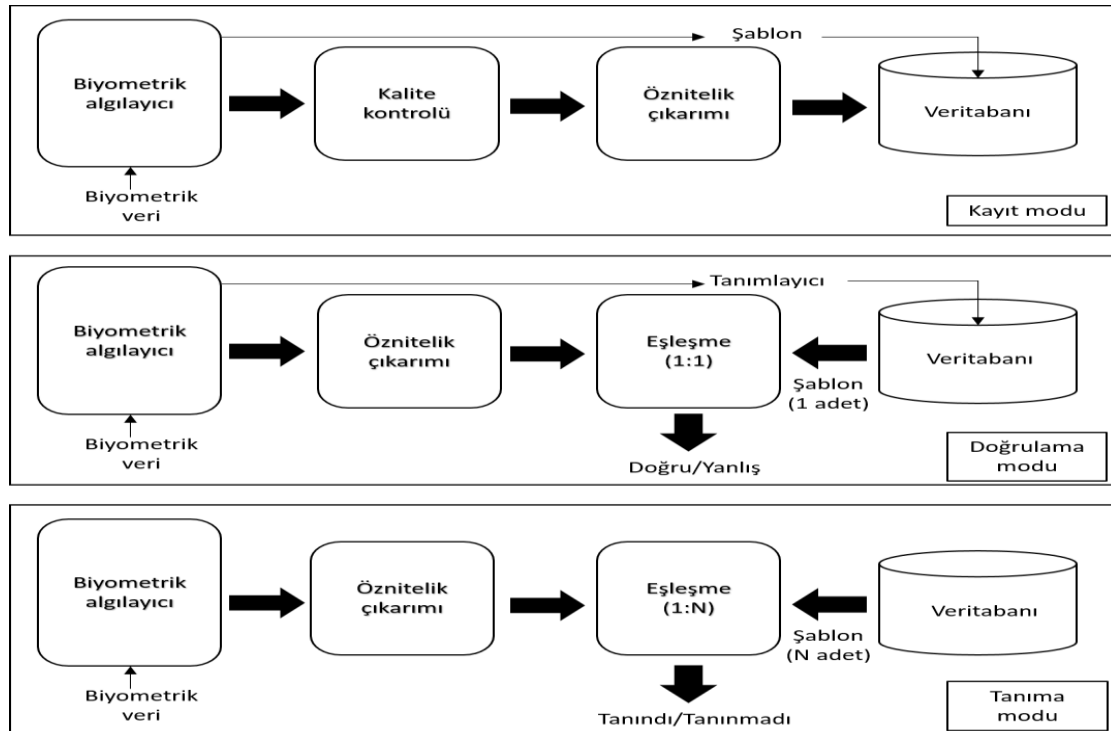
Şekil 2.2. Biyometrik karakteristiklerin kullanım oranları [39]

Çizelge 2.1. Biyometrik teknolojilerin karşılaştırılması [2] Y:Yüksek O:Orta D:Düşük

| Biyometrik Karakteristik | Evrensellik | Eşsizlik | Kalıcılık | Elde edilebilirlik | Performans | Kabul edilebilirlik | Aldatma |
|--------------------------|-------------|----------|-----------|--------------------|------------|---------------------|---------|
| Yüz                      | Y           | D        | O         | Y                  | D          | Y                   | Y       |
| Parmak izi               | O           | Y        | Y         | O                  | Y          | O                   | O       |
| El geometrisi            | O           | O        | O         | Y                  | O          | O                   | O       |
| İris                     | Y           | Y        | Y         | O                  | Y          | D                   | D       |
| İmza                     | D           | D        | D         | Y                  | D          | Y                   | Y       |
| Ses                      | O           | D        | D         | O                  | D          | Y                   | Y       |
| DNA                      | Y           | Y        | Y         | D                  | Y          | D                   | D       |
| Kulak                    | O           | O        | Y         | O                  | O          | Y                   | O       |

## 2.2. Biyometrik Sistemlerin Çalışma Prensipleri

Biyometrik sistemler, yapısı itibarıyla örüntü tanıma sistemleridir. Temel olarak bir biyometrik sistemde, giriş verisi analiz edilir ve öznitelik vektörleri çıkartılmaktadır. Daha sonra ise sistemdeki veritabanına şablon olarak kaydedilir. Kayıtlı şablonlar ile analiz edilecek giriş verisi tanıma ya da doğrulama işlemine tabi tutulur. Şekil 2.3’de biyometrik sistemlerin çalışma modlarına yer verilmiştir [2, 28].



Şekil 2.3. Biyometrik sistemlerin çalışma prensibi [28]

Biyometrik sistemlerin, uygulama alanına göre çalışma modları farklılık göstermektedir. Fakat temel olarak biyometrik sistemler; verinin edinimi, görüntü analizi, öznitelik çıkarımı ve eşleşme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Aşağıda bu işlem basamakları maddeler halinde açıklanmıştır.

- Veri edinimi: Biyometrik verinin fiziksel ortamdan dijital ortama aktarılmasıdır.
- Görüntü analiz: Fiziksel ortamdaki veri; gürültü, ışık, nem vb. unsurlardan dolayı yeteri kadar kaliteli olmadığı için görüntü iyileştirme yaklaşımlarının uygulanmasıdır.
- Öznitelik çıkarımı: Analiz edilen veri, biyometrik veri türüne göre işlenerek tanımlayıcı karakteristiklerin elde edilmesidir.
- Eşleşme: Veritabanında kayıtlı öznitelik vektörleri ile giriş yapan kişinin öznitelik vektörlerinin karşılaştırılmasının yapılmasıdır.

Biyometrik sistemler, eşleşme işleminden sonra çalışma moduna göre kullanıcıya doğru/yanlış ya da tanındı/tanınmadı çıktıları vermektedir. Aşağıdaki alt başlıklarda biyometrik sistemlerin çalışma modları detaylı açıklanmıştır.

### 2.2.1. Doğrulama modu

Doğrulama modu, giriş yapan kişinin biyometrik verisi ile kayıtlı olan kişiye ait tanımlayıcı veriye (kimlik numarası, kullanıcı adı vb.) göre çalışmaktadır. Doğrulama modunun çalışma prensibi gereğince,  $X$  sisteme giriş yapmak isteyen kişinin biyometrik verisinin öznitelik vektörüdür. Giriş yapmak isteyen kişi sistemde daha önce kaydedilmiş ya da kaydedilmemiş ve öznitelik vektörü  $X_i$  olan  $K$  kişidir. Sistemin çalışma prensibi gereğince kişi veritabanında ya kayıtlıdır ya da kayıtlı değildir. Böylesi bir durumda  $w_1$  ve  $w_2$  olan iki sınıf söz konusudur.  $X$  öznitelik vektörünün  $K$ 'ya ait olması, yani veri tabanında kayıtlı ise  $w_1$  sınıfına ait, kayıtlı değilse  $w_2$  aittir. Bu durum Eş. 2.1'de ifade edilmiştir [2].

$$(K,X) \in \begin{cases} w_1, & s(X, X_i) \geq T \\ w_2, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki ifadede  $s$ ,  $X$  ile  $X_i$  öznitelik vektörleri arasındaki benzerliği ölçen bir fonksiyondur.  $T$  ise onaylama için benzerlik ölçütüdür.

### 2.2.2. Tanıma modu

Tanıma modu, giriş yapan kişi ile daha önce işlenmiş ve kaydedilmiş biyometrik verileri karşılaştırarak tanıma işlemini gerçekleştirmektedir. Onaylama/doğrulama işlemi için tek karşılaştırma söz konusuysen tanıma modunda kayıtlı veri kadar karşılaştırma söz konusudur. Tanıma modunda “Öznitelik vektörü  $X$  olan biyometrik veri kime aittir?” sorusuna cevap aranırken doğrulama modunda “Öznitelik vektörü  $X$  olan kişi  $K$  kişisi midir?” sorusuna cevap aranmaktadır. Tanıma modunun çalışma prensibi Eş. 2.2’de ifade edilmektedir [2].

$$X \in \begin{cases} K_m, & \text{smax}_m(X, D) \geq T, D = \{X_1, X_2, \dots, X_i\} \\ K_{N+1}, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki ifadede  $K$  ilgili kişiyi,  $X$  giriş verisine ait öznitelik vektörünü,  $D$  kayıtlı öznitelik vektörlerini ifade etmektedir.  $X$  ile kayıtlı veriler ( $D$ ) karşılaştırılarak en yüksek eşleşme oranına ait kişi  $K$  kişi temsil ettiği sonucuna varılır [2]

### 2.3. Biyometrik Sistemlerin Kullanım Alanları

Biyometrik sistemler, teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte insan hayatının hemen hemen her alanında kullanılmaktadır. Bu sistemler daha çok, kişisel bilgilerin yoğun olarak paylaşıldığı, yüksek güvenlik önlemi gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu sistemler, yüksek güvenliğin yanı sıra kullanım kolaylığı sağlaması bakımından müşteri memnuniyetinin önemli olduğu alanlarda da kullanılabilmektedir [28]. Gerek kullanım özellikleri gerekse işlevi açısından oldukça popüler olan bu sistemler için yapılan çalışmalar da gün geçtikçe artmaktadır. Bu sistemlerin varlığı ile kişi herhangi bir tanımlayıcıya (kimlik kartı, banka kartı vb.) gerek duymadan unutma ve kaybetme gibi olumsuz durumlara maruz kalmadan tanıma işlemini gerçekleştirebilmektedir. Bu durum da, bu sistemlere olan güvenin artmasına neden olmaktadır [2, 28, 30]. Biyometrik sistemin yaygın kullanım alanlarının bazılarını aşağıda sunulan maddelerde yer verilmiştir.

- Kriminal amaçlı kişileri teşhis ve tespit uygulamaları,
- ATM, personel takip sistemleri,
- Havaalanlarındaki giriş ve çıkış kontrolü,

- Online bankacılık,
- Sağlık uygulamaları,
- E-ticaret,
- SSK, vergi denetimi,
- Bilgisayarlar, cep bilgisayarları, cep telefonları ve e-devlet hizmetleridir.

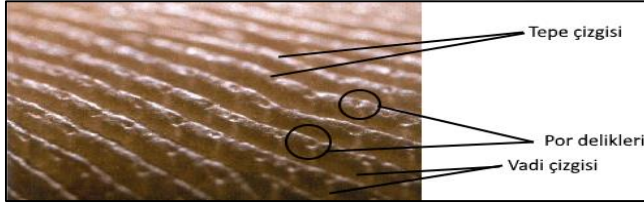


### 3. PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMLERİ

Parmak izi, biyometrik tanıma sistemlerinde en çok tercih edilen tanımlayıcıdır [2]. Bu tanımlayıcının ayırt ediciliğinin yüksek, elde edilebilirliğini kolay ve veritabanında az yer kaplaması bu tanımlayıcıyı cazip kılanlar unsurlar arasında bulunmaktadır. Aşağıdaki alt başlıkta bu tanımlayıcının yapısı ve özelliklerine değinilmiştir.

#### 3.1. Parmak İzi Yapısı ve Özellikleri

Parmak izi, anne karnında oluşmaya başlar ve fetüs gelişiminin yaklaşık yedinci ayında tamamen şekillenmektedir [31]. Parmağın son eklemi ile uç kısmı arasındaki deri (epidermis tabakası) üzerinde düzenli aralıklar ile sıralanmış hat çizgilerin (papil) farklı şekillenmesi parmak izi şeklinin oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 3.1). Bu izler bulunduğu ortama, papil üzerinde bulunan por deliklerinden ter ve sıvı çıkışı ile aktarılmaktadır [2, 30, 31].



Şekil 3.1. Parmak izi yapısı

Parmak izi yapısındaki hat çizgileri, bir sıra alçak ve bir sıra yüksek olmak üzere sıralanmaktadır. Bu hat çizgileri tepe ve vadi çizgisi olarak ifade edilmektedir [31]. Tepe çizgilerinin farklı şekillenmesi ve yapısı parmak izinin global, yerel ve yapısal karakteristikler olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırılmasına neden olmaktadır. Parmak izinin ayırt ediciliği bu karakteristiklere ve bunların birbirleriyle olan ilişkisine bağlıdır [2, 31-30]. Aşağıda alt başlıklarda bu karakteristikler detaylı olarak açıklanmaktadır.

##### 3.1.1. Global karakteristikler

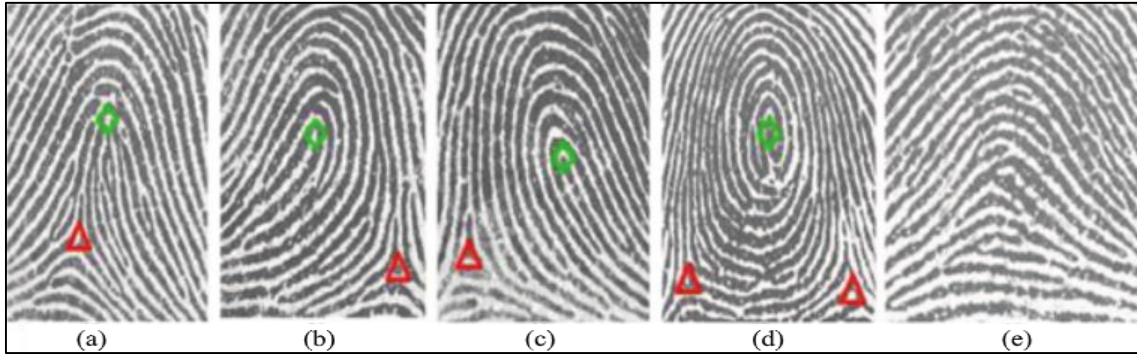
Parmak izine ait global özellikler üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar; parmak izi çizgilerinin, tekil noktalar (singular points), yön bilgileri (orientation field), parmak izi sırt

çizgilerinin sıklığı (ridge frequency) bilgileri olarak ifade edilmektedir [30]. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

### Tekil noktalar

Parmak izinin genellikle orta kısmında tepe çizgilerinin ani yön değiştirmesi ile oluşan karakteristikler tekil nokta olarak ifade edilmektedir [2]. Bu karakteristikler, parmak izinin sınıflandırılması ve eşleştirilmesinde kullanılmaktadır. Galton tarafından bu karakteristikler; döngü, halka ve kemerli olmak üzere üç farklı tekil bölge olarak sınıflandırılmış, daha sonra Henry bu sınıflandırmayı sağa döngü, sola döngü, kemerli, dik kemerli ve halka olmak üzere beş sınıfa ayırmıştır [2, 30].

Döngü, parmak izinde bir ya da birkaç tepe çizgisinin başladığı yerde bitecek şekilde birleşmesi oluşmaktadır (Şekil 3.2. (a)). Bu sınıfa ait tüm parmak izleri bir tane delta bir tanede çekirdek noktası içermektedir. Henry tarafından döngü, tepe çizgilerinin sağa (Şekil 3.2.(b)) veya sola dönük (Şekil 3.2.(c)) olarak şekillenmesine göre iki farklı sınıfa ayrıştırılmıştır [34].



Şekil 3.2. Parmak izi global karakteristikler [18] (a) Döngü parmak izi (b) Sağa yatık döngü parmak izi c) Sola yatık döngü parmak izi (d) Halka parmak izi (e) Kemerli parmak izi

Halka, parmak izi merkezinde en az bir tepe çizgisinin 360 derece yaparak birleşmesi ile oluşmaktadır (Şekil 3.2 (d)). Böylesi sınıfa ait parmak izlerinde iki tane delta noktası, minimum bir tane de çekirdek noktası bulunmaktadır [33].

Kemerli, parmak izi tepe çizgilerinin belirli bir yerden başlayıp hafif bir eğim oluşturduktan sonra sonlanması ile oluşan izdir (Şekil 3.2 (e)). Tepe çizgileri eğiminin yüksek olması ile

dik kemerli global karakteristik oluşur. Dik kemerli sınıfa ait parmak izlerinde bir tane delta noktası ve çekirdek noktası bulunurken kemerli sınıfa ait parmak izlerinde bu noktalar bulunmamaktadır [33].

Parmak izleri sınıflarının belirlenmesinde, tepe çizgilerinin özel şekillenmesi ile isimlendirilen ve bir nevi kontrol noktası olarak kabul edilen delta ve çekirdek(core) noktasından faydalanılır. Aynı zamanda bu noktalar ile parmak izleri farklı açıyla alınmış dahi olsa karşılaştırma için kullanılacak parametreler kolaylıkla hesaplanabilmektedir [2, 33].

### Parmak izi yön ve frekans bilgisi

Parmak izinde tepe çizgisi, yapısı itibariyle bünyesinde yön bilgisi bulundurmaktadır [2]. Görüntüde  $p(x, y)$  olarak ifade edilen bir piksel, koordinat bilgileri ile tanımlanır. Tüm piksellerin yönleri hesaplandığında görüntünün yön bilgisi (orientation field-OF) elde edilmiş olur. Literatürde OF tahmini için kullanılan yaklaşımlar gradyan temelli yaklaşımlar (gradient-based), filtre tabanlı yaklaşımlar (filter-bank based) ve modele dayalı yaklaşımlar (model-based) olarak sınıflandırılabilir [2, 31-33]. Bu başlık hakkında detaylı bilgi görüntü iyileştirme bölümünde verilmiştir. Bir diğer global özellik olan frekans bilgisi, parmak izinin bloklara ayrılması ile hesaplanmaktadır. Bloklarda, yerel yönlere dik doğrultuda olacak şekilde tüm gri ölçekli pikseller ortaya çıkarılır. Böylece, parmak izindeki sırt hatlarını oluşturan sinüsel dalgalar ile birlikte yerel minimum noktaları biçimlenir [2, 33].

### **3.1.2. Yerel karakteristikler**

Herhangi iki parmak izini eşleştirebilmek için global karakteristikler tek başına yeterli değildir [31]. Benzerliğin daha detaylı ölçülebilmesi adına tepe çizgilerinin özelliklerinin çıkarılması gereklidir. Bu özellikler, ayrıntı (minutiae) olarak ifade edilmekte ve parmak izindeki tepe çizgilerinin ani değişmesi veya sonlanması ile oluşmaktadır [2]. Bunlardan bazıları Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Bu karakteristikler arasında “uç nokta” ve “çatal nokta” otomatik parmak izi tanıma sistemlerinde yaygın kullanılan önemli ayrıntı noktalarındandır. Uç nokta, tepe çizgisinin

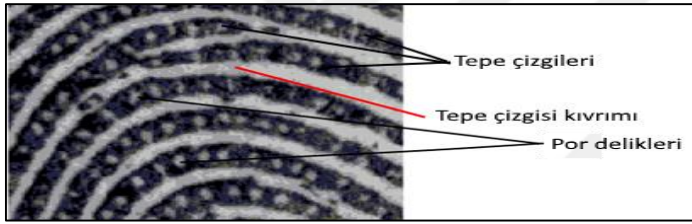
ani sonlanması ile oluşurken; çatal nokta, tepe çizgisinin iki farklı kola ayrılması ile oluşmaktadır [2, 31].



Şekil 3.3. Parmak izi ayrıntı noktaları

### 3.1.3. Yapısal karakteristikler

Parmak izi tepe çizgilerinin üzerindeki por delikleri ya da tepe çizgilerinin kıvrımları, yapısal karakteristik olarak ifade edilmektedir. Bu karakteristikler olay yerinde tespit edilen parmak izi görüntülerini eşleştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır [33].



Şekil 3.4. Parmak izi yapısal karakteristikler

## 3.2. Parmak İzi Alım Yöntemleri

Parmak izleri, tepe çizgileri üzerinde yer alan por deliklerindeki sıvı çıkışı ile bulunduğu yüzeye temas ettiğinde ortamda iz bırakmaktadır [4, 34]. Bu izler bulunduğu ortamdan alım yöntemlerine göre çevrimiçi ya da çevrimdışı olmak üzere iki sınıf ile toplanmaktadır [31].

Çevrimdışı yöntemlerde, parmağın daha önceden herhangi bir yüzeye bıraktığı izler toplanmakta ve kişinin doğrudan parmak izi alınmamaktadır [2]. Bu yöntemler ile toplanan parmak izleri ortamda görünür (patent) ve görünmez (latent) olmasına göre iki sınıfla ifade edilmektedir [35]. Patent izler; parmağa kan, mürekkep, yağ gibi bir sıvı bulaşması sonucunda ortaya çıkan ve çıplak gözle görünen izlerdir. Bu izler bulunduğu ortamdan fotoğraflama ya da bant yardımı ile dijital ortama aktarılmaktadır. Latent izler ise doğrudan çıplak gözle tespit edilemeyen izlerdir. Bu izler öncelikle bir takım kimyasallar (Amido

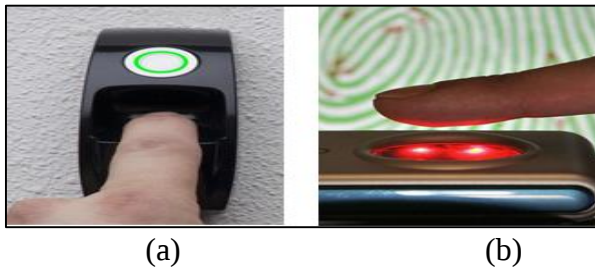
Black, Ninhidrin vb.) ile belirginleştirilmektedir. Daha sonra fotoğraf ya da bant yardımı ile dijital ortama aktarılmaktadır [2, 34, 35].

Çevrimiçi yöntemler, bireyin parmak izinin doğrudan sensörler (optik, kapasitif, termal vb.) ya da fotoğraf makinaları ile toplanmasıdır [2, 31]. Bu yöntem, genellikle gerçek zamanlı modda çalışan modern otomatik parmak izi tanıma sistemlerinde (OPTS) kullanılan toplama yöntemidir [2].

Her iki yöntemde parmak izi görüntüsünü kaliteli elde etmek mümkün değildir. Çünkü parmak izi görüntü kalitesini etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar; sensör teknolojisi, kimyasal yöntemler, uzman bilgisi, sensörün temizliği, kişinin parmağındaki kesik, yaralanma, pislik vb. olarak sıralanmaktadır [36]. Görüntüyü kaliteli elde edebilmek amacıyla veri edinim aşamasında farklı teknolojik alt yapıya ait sensörler ya da fotoğraf makinaları kullanılmaktadır. Bu aşamada kullanılan cihazın parmak ile temas edip etmemesine göre veri edinim aşaması temassız ya da temassız alım olarak ayrılmaktadır [8]. Parmak izi görüntüsü fiziksel ortamdan temassız ya da temassız olarak elde edildikten sonra görüntü kalitesini etkileyen unsurları elimine edebilmek için iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Aşağıdaki alt başlıklarda temassız ve temassız alım yöntemleri ve Bölüm 3.3’de parmak izi iyileştirme yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır.

### 3.2.1. Temassız ve temassız parmak izi alım yöntemleri

Parmak izi alım yöntemlerinde izler, fiziksel ortamdan dijital ortama sensör ya da fotoğraf makinaları ile aktarılmaktadır. Bu izlerin alımında parmağın cihaz ile temas edip etmemesine göre veri toplama yöntemleri ayrılmaktadır. Bunlar; temassız ya da temassız alım yöntemleri (Şekil 3.5) olarak ifade edilmektedir [2, 8].



Şekil 3.5. Parmak izi alım yöntemleri [37, 38] (a) Temassız alım (b) Temassız alım

### Temaslı alım yöntemleri

Temaslı alım yönteminde, bireyin parmağının sensöre değdirilmesi ile parmak izi görüntüsü elde edilmektedir (Şekil 3.5. (a)). OPTS'nin çoğu, parmak izini optik ve kapasitif sensörler ile temaslı olarak elde etmektedir. Bu sensörleri cazip kılan maliyetinin düşük ve kullanışlı olmasıdır [39]. OPTS'leri, parmak izi tepe çizgilerinde bulunan karakteristiklerin (uç ve çatal nokta) eşleştirilmesi mantığı ile çalışmaktadır [40]. Bu nedenle, bu noktaların doğru çıkarımı için görüntü iyileştirme yaklaşımları uygulanmaktadır. Çünkü bu sensörler parmak izi görüntü kalitesinin bozulmasına neden olan birçok probleme yol açmaktadır [39-41]. Bunlar;

- Derinin elastikiyetinin azalması ile parmak izinde doğrusal olmayan bozukluklara yol açması,
- Parmağın sensöre az ya da fazla basımına bağlı olarak görüntü kontrastının değişkenliği,
- Parmağın üzerindeki toz, pislik gibi unsurların varlığı,
- Parmağın ıslak ya da kuru olması ve
- Sensörde parmak izi alımından kalan temizlenmemiş kalıntılar olarak sıralanabilir.

Literatürde, bu problemlerin görüntü kalitesinin düşmesine neden olduğu ifade edilmektedir. Bu tarzdaki problemlerden dolayı veri edinim aşamasında toplanan parmak izlerinin %10'u düşük kaliteli olarak elde edilmektedir [2]. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek adına birçok çalışma yapılmış ve tez kapsamında bu çalışmalar Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Bu çalışmalar neticesinde, temaslı alım yöntemleri ile elde edilen bir parmak izi görüntüsüne farklı işlem basamakları uygulandığı görülmektedir. Bu işlem basamaklarının her biri farklı bir amaç doğrultusunda uygulanmaktadır. Bunlar Bölüm 3.3'de detaylı olarak açıklanmaktadır.

| Kaynak | Amaç                                                                                                                                                      | Kullanılan teknikler                        | Veri seti                   | Başarım                                                  | Yorum                                                                                                                                                                                       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [36]   | Düşük kaliteli parmak izi görüntüsünü iyileştirme                                                                                                         | STFT ve Gabor                               | NIST, FVC2004 DB1           | EER: %11.5                                               | Hong'un yaklaşımına göre [42] karmaşıklığı daha az, eş zamanlı yön ve frekans bilgisi çıkarımı sağlamaktadır.                                                                               |
| [41]   | Çekirdek noktası tespiti                                                                                                                                  | Gaussun ikinci türevi ve Primit             | FVC 2004 DB1                | %75 doğru Çekirdek noktası çıkarımı                      | Parmak izi görüntülerini sınıflandırmada ve eşleştirmede kısmen kullanışlıdır.                                                                                                              |
| [44]   | Parmak izi görüntülerini iyileştirme                                                                                                                      | Hızlı Gabor filtreleme                      | FVC 2002 DB3                | -                                                        | Hong yaklaşımındaki [42], blok etkisinden kaynaklı problem çözülmüştür, Algoritma performansı, Ratha ve ark. tarafından önerilen [46] GI yaklaşımın geliştirilmesi ile değerlendirilmiştir. |
| [45]   | İyileştirme algoritmalarının hesaplama karmaşıklığını azaltmak için güvenilir OF (Orientation Field )bilgisi çıkarımı ve görüntü işleme sürecini kısaltma | Geliştirilmiş Gabor                         | FVC 2004                    | İyileştirme ile ortalama: 0.0033 sn yön bilgisi çıkarımı | Hesaplama karmaşıklığı azaltılmıştır. Fakat gürültü parmak izlerinde iyi bir sonuç vermemektedir.                                                                                           |
| [46]   | Düşük kaliteli parmak izi görüntülerinde eğimli tepe çizgisi bölgelerini iyileştirme                                                                      | Eğimli Gabor                                | FVC 2004 DB1, DB2, DB3, DB4 | EER: en düşük %1.33, en yüksek %6.39                     | Farklı verisetleri için sistem performansı değişkenlik göstermektedir.                                                                                                                      |
| [39]   | Parmak izi görüntülerini iyileştirme                                                                                                                      | Morfolojik filtre                           | FVC2004 DB2                 | AR:%85.32                                                | İyileştirme algoritması, tepe çizgilerindeki kopuklukları birleştirme ve gürültü azaltmada başarılı bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir.                                                      |
| [47]   | Düşük kaliteli parmak izi görüntülerini iyileştirme                                                                                                       | Anisotropic difüzyon filtre, angular filtre | FVC2004 DB1, DB2, DB3, DB4  | Ortalama iyileştirme zamanı: 8.05 sn                     | Frekans bilgisi, bölgesel maske hesaplanmadan görüntü iyileştirmektedir.                                                                                                                    |
| [48]   | Düşük kaliteli parmak izi görüntülerini iyileştirme                                                                                                       | STFT                                        | FVC2002 DB3                 | EER: %7.8                                                | Bölgesel maske, frekans ve yön bilgisi eş zamanlı çıkarılmaktadır.                                                                                                                          |

Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere, irdelenen çalışmaların ortak amacı optik kapasitif gibi sensörler ile temaslı olarak elde edilen düşük kaliteli parmak izi görüntülerinin iyileştirilmesidir. Çünkü parmak izi alımı esnasında görüntü kalitesinin düşmesine neden olan birçok unsur (sensörün kirli olması, bölgesel kontrast farkı vb.) bulunmaktadır. Bu unsurların giderilebilmesi için irdelenen çalışmalardaki yaklaşımlarda, genellikle FVC’ nin (Fingerprint Verification Competition) erişime açık verisetleri ile test edilmiştir. Aşağıdaki alt başlıkta bu veri setlerine ait parmak izi toplama yaklaşımları, özellikleri ve başarı oranları karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

### FVC verisetleri ve özellikleri

FVC, otomatik parmak izi tanıma sistemlerinin performansının artırılabilmesi adına birden farklı teknolojik alt yapıya sahip sensörler ile elde edilen parmak izi görüntülerini iyileştirmeye yönelik düzenlenen bir yarışmadır [48]. Bu yarışmada, parmak izi görüntüleri ile farklı ülkelerdeki araştırma gruplarının geliştirdikleri iyileştirme yaklaşımları test edebilmektedir. Bu kapsamda oluşturulan verisetleri FVC 2000, FVC 2002, FVC 2004 ve FVC 2006’dır.

FVC 2000, parmak izi doğrulama sistemlerinin performansının artırılması için düzenlenen ilk oturumdur. Bu oturumda, parmak izleri düşük maliyetli optik ve kapasitif, optik sensörler ile toplanmış ve dört farklı veri seti oluşturulmuştur. Parmak izi görüntüleri toplanırken sensörün teknik özelliği dışında görüntü kalitesinin bozulmasına neden olan sensörün temizliği gibi unsurlara dikkat edilmemiştir. Bu doğrultuda toplanan verilerin ne düşük kaliteli ne de yüksek kaliteli olduğu ifade edilmiştir [49]. Veri setleri, farklı ülkelere katılan araştırma gruplarının geliştirdiği algoritmalar ile test edilmiş ve başarı oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda en yüksek başarı oranı EER %1.37 ile NEUR algoritmasında elde edilmiş [51], en düşük başarı oranının ise % 47.84 olduğu görülmüştür [49].

FVC 2002, parmak izi doğrulama sistemlerinin performansı için düzenlenen ikinci oturumdur. Bu oturumda da ilk oturumda olduğu gibi dört farklı veri seti oluşturulmuştur. Bu oturumda izler iki farklı optik, bir adet kapasitif sensör ve SFinGE ile toplanmıştır. Bu izler toplanırken; görüntü kalitesi kontrolü yapılmamış, sensör temizliğine dikkat edilmemiş ve parmağın dönme açısı 35 dereceyi aşmayacak şekilde toplanmıştır [52]. Toplanan parmak

izi görüntüleri yarışma kapsamında, geliştirilen 33 farklı algoritma ile test edilmiştir. En yüksek başarı oranı EER %0.19, en düşük başarı ise EER %50'dir [53].

Üçüncü oturum olan FVC2004'de diğer oturumlarda olduğu gibi dört farklı veri seti oluşturulmuş ve farklı ülkelerdeki araştırma gruplarının geliştirildiği iyileştirme yaklaşımları karşılaştırılmıştır. Verisetleri, optik kapasitif, termal sensörler ile toplanmıştır. Bu veri setlerindeki izlerin, FVC2000 ve FVC2002'deki parmak izi görüntülerine göre daha problemli olduğu ifade edilmiştir. Çünkü bu parmak izleri toplanırken sensör temizliğinin yanı sıra veriler aşağıdaki unsurları içerecek şekilde toplanmıştır [54].

- Katılımcıların sensöre fazla basınç ya da az basınç uygulaması,
- Parmağın kuru ve nemli olması,
- Yaralı parmak izleri ve
- Parmağın dönme açısıdır.

Veri setindeki parmak izi görüntüleri yarışma kapsamında, 41 farklı algoritma ile test edilmiştir. En yüksek başarı oranı EER %2.07, düşük başarı oranı ise EER %37.83'tür [55].

FVC 2006, düzenlenen oturumda, diğer oturumlarda olduğu gibi dört farklı veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setlerindeki parmak izleri, elektrik alan, termal ve optik sensörler ile toplanmıştır. Diğer oturumlarda toplanan izlerde olduğu gibi parmak izleri, büyük miktarda rotasyon, yer değiştirme, derinin ıslak ve kuru olması gibi koşullar altında toplanmıştır. Ancak diğer oturumlardan farklı olarak bu oturumda parmak izlerini veren kişilerin meslek grupları ve yaş skalası değişkenlik göstermektedir. Toplanan parmak izlerini düşük kaliteli almak için kısıtlayıcı bir unsur bulunmamaktadır. Nihai verisetleri, bu toplanan parmak izleri arasında minimum görüntü kalitesine sahip görüntüler seçilerek oluşturulmuştur [57]. Verisetleri 42 farklı algoritma ile test edilmiş ve en yüksek başarı oranı EER %2.15, en düşük başarı oranı ise EER %38.83 olarak elde edilmiştir [57].

Yukarıda ifade edilen problemli parmak izlerini, doğrulama sistemlerinde kullanışlı hale getirebilmek için yarışma kapsamında görüntü iyileştirme yaklaşımları ile çözüm önerilerinde bulunulmuş ve yüksek başarı oranı elde edilmiştir. Fakat bunun yanı sıra literatürde, veri edinim aşamasında alım yönteminin değiştirilmesi ile birçok problemin çözülebileceği ve yüksek başarıda doğrulama sürecinin gerçekleşebileceği de ifade

edilmiştir [39]. Bu amaçla parmak izleri bulunduğu ortamdan temassız olarak elde edilmektedir.

### Temassız alım yöntemleri

Temassız alım yöntemi, parmağın herhangi bir yüzeye temas etmeden dijital ortama aktarılmasıdır. Bu yaklaşım kendi içerisinde iki boyutlu ve üç boyutlu teknolojiler kullanılmasına göre ikiye ayrılmaktadır [8, 39]. İki boyutlu parmak izleri, mobil cihaz, web kamera ya da dijital kameralar gibi cihazlar ile fiziksel ortamdan elde edilmektedir. Üç boyutlu parmak izleri ise, fotometrik, tonlamadan şekil elde etme (SFS-Shape from shading) gibi yaklaşımlar ile fiziksel ortamdan dijital ortama aktarılmaktadır. Çizelge 3.2’de, bu temaslı alım yöntemlerine ve bu alım yöntemleri ile ilgili problemlere yer verilmektedir [58].

Çizelge 3.2. Parmak izi alım yöntemlerine göre karşılaşılan problemler [58]

| Problemler             | Parmak izi alım yöntemi |                        |                       |
|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
|                        | Temaslı alım yöntemi    | Temassız alım yöntemi  |                       |
|                        |                         | İki boyutlu parmak izi | Üç boyutlu parmak izi |
| Görüntü deformasyonu   | +                       | -                      | -                     |
| Latent (Kalıntı izler) | +                       | -                      | -                     |
| Hijyen                 | +                       | -                      | -                     |
| Odaklama               | -                       | +                      | +                     |
| Arka plan              | -                       | +                      | +                     |
| Işık                   | -                       | +                      | +                     |
| Boyut                  | -                       | +                      | +                     |

Çizelge 3.2’de görülmektedir ki, temaslı alım yöntemlerindeki görüntü deformasyonu, latent izler, hijyen problemleri temassız alım sensörlerinde karşılaşılmamaktadır. Bunların yanı sıra bu sensörler ile yüzeye fazla/az basınç ya da derinin ıslak/kuru olması gibi unsurlar da görüntünün bozulmasına neden olmamaktadır. Bunlar temassız alım sensörlerinin en önemli avantajları arasındadır. Fakat bu avantajlarının yanı sıra temaslı alım yöntemlerine göre maliyetinin daha yüksek olması, odaklama, yansıma, görüntü boyutu değişken olması temassız alım yöntemlerinin dezavantajları arasındadır. Literatürde, temassız alım yöntemlerinde karşılaşılan bu problemler üzerinde durularak çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Bu problemlere aşağıda maddeler halinde yer verilmiştir.

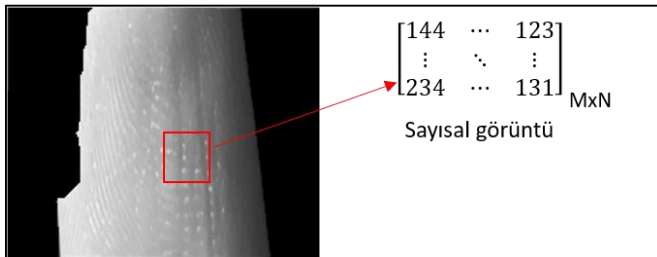
- Işık kaynağının değişken olması: Fotoğraf makinası, web kamera ya da dijital kamera ile elde edilen iki boyutlu görüntüler için ortam standartlaştırılmadığı sürece ışık kaynağı kontrol edilemez [8]. Bu da parmak izi hat çizgilerinin ayırt edilememesine neden olmaktadır. Bu amaçla literatürde, çeşitli ışık kaynakları kullanılarak görüntü belirginleştirilmektedir. Bu çalışmalarda ortam ya tek bir ışık kaynağı ya da birden fazla ışık kaynağı ile aydınlatılmaktadır [59, 60]. Ortamda kullanılan ışık kaynağının dalga boyu parmak izi görünürlüğünü etkilemektedir. Bunun parmak izi görünürlüğü üzerinde etkisini gösterebilmek amacıyla literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde, dalga boyu uzun olan ışık kaynaklarında deriye nüfuz etme ve epidermis tarafından emilme eğilimi göstermesi bakımından hat çizgilerinin belirginliğinin yüksek olduğu, düşük dalga boylu ışık kaynaklarında ise hat çizgilerinin belirginliğinin düşük olduğu görülmüştür [18, 59-61].
- Parmak ile kamera arası mesafenin değişken olması: Görüntü üzerinde birçok probleme yol açmaktadır. Örneğin mesafenin yakın olması odaklama, uzak olması durumunda ortam standart değilse görüntüde birden fazla objenin olmasına neden olmaktadır. Odaklama problemi olan bir parmak izi görüntüsünde hat çizgileri belirgin olmamakla birlikte görüntü de bulanıktır [20]. Görüntüde parmak izinden farklı objelerin bulunması da görüntü analiz aşamasını ve parmak bölgesi çıkarımını zorlaştırmaktadır [20]. Aynı zamanda bu mesafenin değişken olması parmak izi görüntü eşleştirme sürecini zorlaştırmaktadır [22]. Literatürde bu problemin üstesinden gelebilmek adına, parmak ile sensör arası uzaklığının sabit olması, görüntü ölçekleme yapılmasına, cihazların otomatik odaklama özelliği kullanılması gerekliliği üzerine durulmuştur [11, 12, 20].
- Bölgesel kontrast farklılığı: Parmak izi yapısının eğri olması ve ortamdaki ışık koşullarının değişken olması parmak izi görüntüsünde bölgesel kontrast farklılıklarına yol açmaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için görüntü, üç boyutlu çekilmekte ya da ortamdaki ışık kaynağı sabitlenmektedir. Üç boyutlu görüntüler, fotometrik, SFD ya da parmağı farklı açılardan çeken çok sayıda kameradan elde edilen görüntülerin birleştirilmesi ile elde edilmektedir [11, 12, 18].
- Kameranın özellikleri: Bu unsurdan kaynaklı olarak parmak izi görüntülerinde düşük kaliteli elde edilebilmesi mümkündür. Çünkü kamera çözünürlüğü ve alan derinliğinin düşük olması, kaliteli parmak izi görüntüsü elde etmek için yeterli değildir [23]. Bu amaçla literatürdeki çalışmalarda profesyonel cihazlar ya da cihazların makro özellikleri kullanılmaktadır [8, 23, 63].

Temassız alım yöntemlerinde yukarıda değinilen unsurlar, profesyonel cihazlar kullanılarak çözülebilmektedir [58]. Çünkü profesyonel cihazlarda, iki ya da üç boyutlu görüntünün kaliteli elde edilmesi için gerekli teknolojik altyapı en üst düzeyde olup ortam koşulları da en iyi şartlardadır [58, 63]. Fakat bu cihazların gerek maliyetinin yüksek olması gerekse taşınabilirliğinin kolay olmaması, bunların kullanım alanını kısıtlamaktadır. Bu nedenle literatürdeki çalışmalar, son zamanlarda mobil cihazlara yönelmiştir [11, 12, 20- 24, 61].

Mobil cihazlar, iletişim kurmak ile birlikte fotoğraf çekme, kişisel verileri depolama gibi birçok imkânı bir arada bulunduran taşınabilir cihazlardır [22]. Bu cihazların kullanım oranının son zamanlara hızla artması ve gelişen teknoloji ile birlikte yüksek kalitede fotoğraf çekme imkânını sunması bakımından literatürdeki çalışmalar [20-24], temassız veri edinim aşamasını mobil cihazlara gerçekleştirebileceğini ifade etmektedir. Bu tez kapsamında, veri edinim aşaması temassız alım yöntemlerinde karşılaşılan problemler göz önünde bulundurularak tasarlanan bir prototip geliştirilmiştir. Bu prototip ile ortam koşulları standardize edilmiş ve bu sayede mobil cihaz ile temassız olarak parmak izinin kaliteli elde edebilme imkânı sunulmuştur.

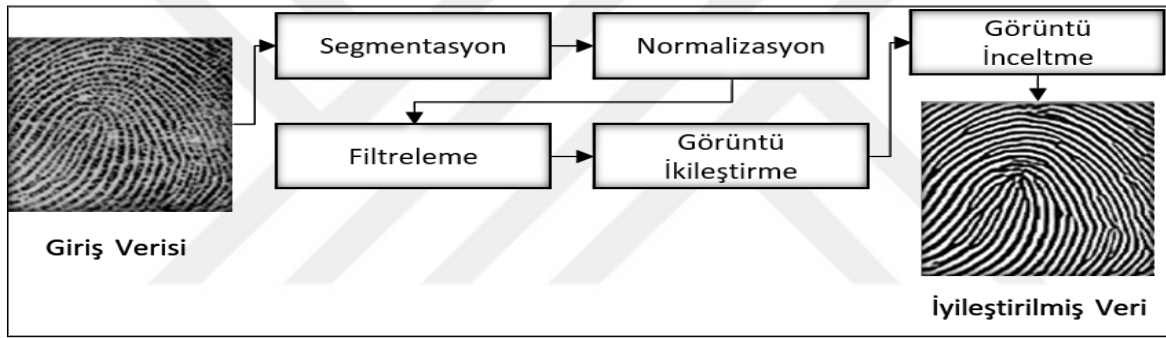
### 3.3. Parmak İzi İyileştirme Yöntemleri

Görüntü iyileştirme, görüntüden bilgi çıkarımına dayalı karar mekanizmalarında görüntü piksellerinin yorumlanabilirliğini artıran bir yaklaşımdır [64, 65]. Veri edinim aşamasında görüntü kalitesini etkileyen unsurları elimine etmek ve görüntüden anlamlı bilgiler çıkarabilmek için uygulanmaktadır [36, 64]. Görüntüde gerekli değişimlerin yapılabilmesi için fiziksel ortamdaki görüntü dijital ortama, reel sayılardan oluşan matris formuna dönüştürülmektedir. Bu işlem görüntü sayısallaştırılması olarak ifade edilmektedir [65]. Şekil 3.6’da, sayısal görüntü örneğine yer verilmektedir.



Şekil 3.6. Sayısal görüntü örneği

Parmak izi görüntülerinde iyileştirme; gürültüyü azaltmak, hat çizgilerini belirginleştirmek, kopuklukları birleştirmek, boşlukları doldurmak, görüntü kontrastını arttırmak, veri boyutunu azaltmak özetle görüntüyü özellik çıkarımına hazır hale getirebilmek amacıyla uygulanmaktadır [17, 25, 20, 36 ]. Bu unsurlar giderilmezse, giriş görüntüsünün kalitesi düşük olmasına neden olarak tanıma sistemlerinin performansını etkilemektedir. Literatürdeki çalışmalar irdelendiğinde [11, 12, 20- 24, 36, 41-47, 61], veri edinim aşaması temaslı ya da temassız da olsa parmak izi görüntü kalitesini etkileyen unsurları elimine etmek için görüntüyü iyileştirme aşamasına tabii tutulduğu görülmektedir. Genel olarak, veri edinim aşamasından sonra bir parmak izi görüntüsünü iyileştirmek için Şekil 3.7’de yer verilen işlem basamakları uygulanmaktadır. Bu işlem basamakları aşağıdaki alt başlıklarda detaylı açıklanmaktadır.



Şekil 3.7. Parmak izi iyileştirme aşamaları

### 3.3.1. Segmentasyon

Parmak izi görüntüsü, arka ve ön plan olmak üzere iki farklı bölge ile ifade edilmektedir. Ön plan, parmak izi hat çizgilerini ve önemli karakteristikleri içeren bölge; arka plan ise görüntünün sınırları dışarısında kalan bölge olarak tanımlanmaktadır [2]. Segmentasyon, ön plan bölgesini arka plan bölgesinden ayırt etmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem, veri boyutunu azaltmak, görüntü işleme sürecini kısaltmak ve doğru özellik çıkarımını gerçekleştirmek amacıyla uygulanmaktadır [66]. Literatürde segmentasyon yöntemi için yaygın kullanılan yaklaşımlar; ortalama ve varyans değerine göre segmentasyon, yöne bağlı segmentasyon, kümeleme yaklaşımıdır [66-70].

Parmak izi görüntüsüne uygulanacak segmentasyon yaklaşımı, görüntünün temaslı ya da temassız elde edilmesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Temaslı alım sensörlerinden

alınan parmak izi görüntüleri için ortalama ve varyans değerine göre segmentasyon, yön bilgisine göre segmentasyon ve kümeleme yaklaşımı ile segmentasyon başarılı sonuç vermektedir [68, 70]. Fakat temassız alım sensörleri ile elde edilen görüntülerde bu yaklaşımlar uygulandığında görüntünün segmente edilmesinde başarılı bir sonuç vermediği için bu durum temassız alım sensörleri ile gerçekleşen tanıma sistemlerinin en büyük problemlerinden biri olarak ifade edilmektedir [24]. Literatürde, bu problemin üstesinden gelebilmek adına birçok çalışma yapılmıştır [11-13, 24]. Bu çalışmalar neticesinde, temassız olarak alınan parmak izi görüntülerine derinin renk pikselleri yoğunluk değerlerine göre segmentasyona uygulandığında yüksek oranda başarı elde edildiği görülmektedir. Çünkü derinin renk yoğunluk değeri düzgün dağılımlı ve diğer objenin renk piksellerinden ayırt edilebilir niteliktedir [24]. Çizelge 3.3’de, veri edinim yöntemine göre uygulanan segmentasyon yaklaşımlarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.3. Parmak izi alım yöntemine göre segmentasyon yaklaşımları

| Kaynaklar   | Veri edinim yöntemi | Segmentasyon yaklaşımları                                                                   | Yorum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [11-13, 24] | Temassız alım       | Deri rengi piksellerinin yoğunluk değeri                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ortamdaki ışık kaynağı ve ortam koşulları sürekli değişmesi segmentasyon aşamasını zorlaştırmaktadır.</li> <li>- Her koşulda uygulanabilen deri rengi piksel değerleri ile parmak bölgesi rahatlıkla tespit edilebilmektedir.</li> <li>- Deri rengi renk pikselleri, düzgün dağılımlı ve ayırt edilebilir nitelikte olması bu yaklaşımı cazip kılmaktadır.</li> </ul>                               |
| [66-70]     | Temaslı alım        | Gri seviye değişimine bağlı segmentasyon, k-ortalama, ortalama ve varyans, yön, eşik değeri | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ortam koşulları standart olduğu için görüntü segmentasyon aşaması rahatlıkla uygulanmaktadır.</li> <li>- Ortalama, varyans, yöne bağlı değerine göre blok bazında segmentasyon yapıldığında başarı blok boyutuna bağlı olarak etkilenmektedir</li> <li>- .Görüntü kalitesi bölgesel olarak değişkenlik gösterdiği takdirde eşik değerine göre segmentasyon başarılı sonuç vermemektedir.</li> </ul> |

### 3.3.2. Normalizasyon

Görüntü üzerindeki ışık etkisini, bulanıklığı gidermek, tepe ve vadi çizgileri arasındaki kontrastı iyileştirmek için uygulanan yöntem normalizasyondur [11-13, 42]. Bu yöntem parmak iyileştirme yöntemleri için temel bir basamak olup her görüntü için mutlaka uygulanması gerekmektedir. Çünkü parmak izi gerek ortamdaki ışık etkisi gerekse parmağın ani kaydırılması sonucu bulanık gibi durumlarda görüntüde hat çizgileri belirginliği azalmaktadır [11, 23, 71, 72]. Bu durum da parmak izi karakteristiklerinin (uç, çatal nokta vb.) çıkarımını zorlaştırmaktadır. Literatürde, bu amaç doğrultusunda parmak izi görüntülerine medyan filtre, histogram eşitleme, kontrast germe, gauss filtre vb. yaklaşımlar uygulanmaktadır [11-13, 71, 36, 41-48]. Bu yöntemlerin temel amacı, parmak izi hat çizgilerinin yapısının korunarak görüntüdeki gri seviye değişimlerini azaltmak ve görüntünün belirginliğini arttırmaktır [42].

Normalizasyon yöntemleri, parmak izi alım yöntemlerinde kaynaklanan problemlere göre farklılık göstermektedir. Örneğin temassız parmak izi alım yöntemlerinde, parmak ile sensör arası mesafenin değişmesi, parmağın ani kayması ya da görüntüyü çeken kişinin elinin titremesi görüntüde bulanıklığa yol açmaktadır. Bu tarz sorunlar, temassız alım sensörlerinde karşılaşılan temel problem olup bulanıklık sorununu gidermek için Wiener filtre uygulanmaktadır [72]. Histogram eşitleme ve kontrast germe ise görüntünün keskinliğini arttırmak için uygulanmaktadır [73]. Fakat bu işlem basamaklarından sonra görüntüde yüksek frekanslı bileşenler ile birlikte alçak frekanslı bileşenler de belirginleşmektedir. Bu durum da tepe ve vadi çizgisinin ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu tarz bir problemin üstesinden gelebilmek için görüntüye gauss filtreleme uygulanmaktadır [26]. Çizelge 3.4’de, temaslı ve temassız alım yöntemlerinde uygulanan normalizasyon yaklaşımları ve bunların kullanım amaçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.4’de görülmektedir ki, normalizasyon yöntemleri veri edinim aşamasında oluşan problemleri gidermek, görüntünün belirginliğini arttırmak ve bir sonraki aşamalarda tanıma sürecine uygulanacak işlem basamaklarını (filtreleme, ikileştirme, inceltme) kolaylaştırmak için uygulanmaktadır. Bu amaçla uygulanan her bir normalizasyon yönteminin görüntü üzerinde kullanım amacı farklıdır. Bu nedenle görüntüye uygulanacak normalizasyon yöntemleri veri edinim aşamasındaki karşılaşılabilecek problemlerin belirlenerek uygulanması gerekliliği ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 3.4. Parmak izi alım yöntemine göre normalizasyon yaklaşımları

| Kaynaklar         | Veri edinim yöntemi   | Normalizasyon yaklaşımları                        | Amaç                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [11-13, 24 71-73] | Temassız alım sensörü | Medyan filtre, Histogram Eşitleme, Kontrast germe | Medyan Filtre: Görüntü elde edinim esnasında oluşan gürültüyü gidermek (tuz biber gürültüsü vb.)<br>Histogram eşitleme/kontrast germe: Görüntünün keskinliğini ve belirginliğini artırmak |
| [17, 42-48, 74]   | Temaslı alım sensörü  | Gauss fitre Wiener filtre Hong-Normalizasyon      | Gauss filtre: Düşük frekanslı bileşenleri elimine etmek<br>Wiener filtre: Görüntüdeki bulanıklığı gidermek<br>Hong-Normalizasyon: Gri seviye değişimlerini azaltmak                       |

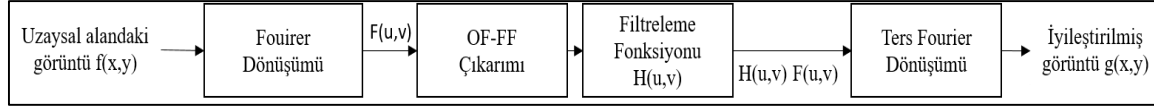
### 3.3.3. Filtreleme

Parmak izi yapısı, yönlü ve durağan olmayan sinyallerden oluşmaktadır [48]. Bu yapıdaki görüntülerin hat çizgilerindeki sürekliliğin sağlanarak iyileştirmenin uygulanması gerekmektedir. Aksi takdirde uygulanan iyileştirme yönteminde, görüntünün sürekliliği bozularak yanlış özellik çıkarımına neden olabilmektedir. Bu durum da, tanıma sistemlerinin performansının düşmesine yol açmaktadır [48]. Literatürde, hat çizgilerindeki sürekliliğin sağlanarak iyileştirilmesi için görüntünün yön ve frekans bilgisine (orientation field-OF, frequency field-FF) bağlı olarak filtreleme yöntemlerinin uygulanması gerekliliği ifade edilmektedir. Bu yöntemlere bağlamsal (içerik) filtreleme denilmektedir [2, 48].

Bağlamsal filtrelemeler, parmak izi görüntülerine uzaysal ya da frekans alanında uygulanabilmektedir. Uzaysal alanda uygulanan filtreleme yöntemleri, konvülosyon işlemlerinden dolayı hesaplama karmaşıklığına neden olabilmektedir. Frekans alanında ise bu işlem doğrudan çarpım işlemine karşılık geldiği için böyle bir durum söz konusu değildir. Bu nedenle genellikle parmak izi görüntülerine frekans alanında filtreleme işlemleri uygulanmaktadır [74].

Literatürde frekans alanında parmak izi görüntülerine uygulanan filtreleme yaklaşımları Gabor, Angular, Anisotropic Difüzyon, Band-geçirgen Butterworth Filtre'dir [36, 41-48, 65]. Bu filtreleme yaklaşımları görüntüye uygulanmadan önce, uzaysal alandaki görüntü fourier dönüşümü ile frekans alanında dönüştürülmektedir [48]. Daha sonra frekans alanına

dönüştürülmüş görüntüden yön, frekans bilgisi gibi temel özellik çıkarımı gerçekleştirilmektedir. Bu bilgiler ile görüntüye, frekans alanında filtreleme fonksiyonu uygulanmaktadır. İyileştirilmiş görüntü ise ters fourier dönüşümü ile uzaysal alana tekrar dönüştürülmektedir [42, 76]. Bu işlem basamakları Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Parmak izi görüntüsüne filtreleme işleminin uygulanma süreci [75, 76]

Fourier dönüşümü, periyodik olmayan sinyallerin sinüs ve kosinüs fonksiyonları ile ifade edilmesi için uygulanan matematiksel işlemlerdir [46]. Bu işlemler, iki boyutlu DFT (2D Discrete Fourier Transform), iki boyutlu FFT (2D Discrete Fourier Transform) ya da STFT (Short-Time Fourier Transform) yöntemleri ile yapılmaktadır [30, 36, 48]. Uzaysal alanda,  $x$  ve  $y$  koordinatlarındaki yoğunluk değeri  $f(x,y)$  ile ifade edilen bir parmak izi görüntüsüne bu işlemlerden biri uygulanarak frekans alanına dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Bu dönüşüm yöntemlerinin parmak izi görüntüsü üzerindeki etkisi irdelendiğinde, görüntüler yönlü ve durağan olmayan sinyallerden oluştuğundan dolayı STFT ile görüntünün tamamının analiz edilebileceği ifade edilmektedir [48]. Bu bakımdan da daha güvenilir yön ve frekans bilgisi çıkarımı için frekans alanına dönüşümün STFT ile gerçekleştirilmesi gerekliliği önem arz etmektedir. Fakat standart fourier dönüşümleri (DFT, FFT) ile görüntünün tamamı analiz edilemediğinden güvenilir yön ve frekans bilgisi çıkarımı gerçekleştirilememektedir [36, 48].

### Yön bilgisi çıkarımı

Parmak izindeki hat çizgilerinin akışı yön bilgisi olarak ifade edilmektedir. Literatürde, parmak izi görüntülerini iyileştirmek için önemli bir işlem basamağı olan yön bilgisi çıkarımı için birçok çalışma önerilmiştir [36, 40, 42, 48]. Bu çalışmalar neticesinde yön çıkarımı; gradyan tabanlı, filtre tabanlı (filter-bank based) ve model tabanlı (model-based) olarak sınıflandırılabilir. Bunlar arasında en çok kullanılan yaklaşımın Hong ve arkadaşları tarafından önerilen Gradyan tabanlı olduğu bilinmektedir [42]. Gradyan tabanlı yaklaşımda doğru yön bilgisi çıkarımı, görüntüdeki gürültünün elimine edilmesine bağlıdır. Çünkü bu yaklaşımın gürültüye karşı hassasiyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle, görüntüye

alçak geçirgen bir filtre olan Gauss filtreleme uygulanmaktadır [36, 42]. Blok bazında gerçekleşen bu yaklaşımın temel aşamaları aşağıdaki gibidir.

Blokların merkezi pikselin x ve y koordinatlarındaki Gradyan değerleri ( $\partial x(i,j)$ ,  $\partial y(i,j)$ ) Sobel, Perwitt, Kirsch, Robinson operatörleri ile hesaplanmaktadır. Blokların yerel yönleri Eş. 3.1, Eş. 3.2 ve Eş. 3.3 ile hesaplanmaktadır [42].

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2 \partial x(u,v) \partial y(u,v) \quad (3.1)$$

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} \partial_x^2(u,v) \partial_y^2(u,v) \quad (3.2)$$

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{V_x(i,j)}{V_y(i,j)} \right) \quad (3.3)$$

Alçak geçirgen filtre uygulanması için Eş. 3.4 ve Eş. 3.5'e göre sürekli vektör koordinatlarının hesaplanmaktadır.

$$\phi_x(i,j) = \cos 2\theta(i,j) \quad (3.4)$$

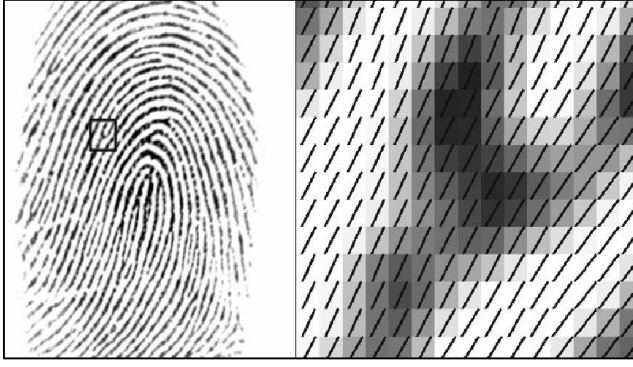
$$\phi_y(i,j) = \sin 2\theta(i,j) \quad (3.5)$$

$w_\phi * w_\phi$  boyutundaki alçak geçiren filtre G, x ve y koordinatlarında uygulanması ile blokların yerel yönleri aşağıdaki Eş. 3.6 ve Eş. 3.7 ile hesaplanır.

$$\partial'_x(i,j) = \sum_{u=-\frac{w_\phi}{2}}^{\frac{w_\phi}{2}} \sum_{v=-\frac{w_\phi}{2}}^{\frac{w_\phi}{2}} G(u,v) \phi_x(i-uw, j-vw) \quad (3.6)$$

$$\partial'_y(i,j) = \sum_{u=-\frac{w_\phi}{2}}^{\frac{w_\phi}{2}} \sum_{v=-\frac{w_\phi}{2}}^{\frac{w_\phi}{2}} G(u,v) \phi_y(i-uw, j-vw) \quad (3.7)$$

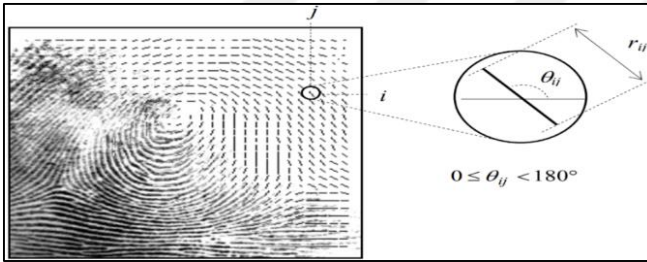
Şekil 3.9'de gradyan tabanlı yön çıkarımı uygulanmış bir parmak izi görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 3.9. Parmak izi görüntüsünden yön bilgisi çıkarımı

### Frekans bilgisi çıkarımı

Parmak izindeki hat çizgileri arası piksellerinin ortalama aralık mesafesi frekans olarak ifade edilmektedir [2]. Yön bilgisi çıkarımında olduğu gibi frekans bilgisi çıkarımı da parmak izi iyileştirme sürecinde oldukça önemli bir işlem basamağıdır [2, 48].



Şekil 3.10. Parmak izi görüntüsünden frekans bilgisi çıkarımı

Frekans bilgisi çıkarımı yapılırken parmak izinin yönüne dik bir blok uygulanarak görüntü piksel-piksel kaydırılır ve gri seviye renk değerleri toplamı sinüs eğrisi şeklinde elde edilir (Şekil 3.10). Bu işlem sonucunda frekans, ardışık iki tepe çizgisi arasındaki ortalama mesafenin tersi olarak ifade edilmektedir [2].

Literatürde, yön ve frekans bilgisi çıkarımı ile ilgili birçok yaklaşım önerilmektedir [36, 41-48]. Bağlamsal filtreleme başarısının bu bilgilerin doğru çıkarımına bağlı olduğu bilindiğinden, önerilen yaklaşımların avantajları ve dezavantajları irdelenerek iyileştirme sürecinde uygulanması gerekliliği önem arz etmektedir. Bu nedenle tez kapsamında literatürde yön ve frekans bilgisi çıkarımı ile ilgili önerilen yaklaşımlar irdelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Fourier dönüşümü, güvenilir yön ve frekans bilgisi çıkarımı için oldukça önemli bir işlemdir. Çünkü kullanılan Fourier Dönüşümü tekniğinde ile görüntü tamamen analiz edilir ya da edilemez. Bu durum da görüntünün yön ve frekans bilgisi çıkarımını etkilemektedir. Bu bakımdan kullanılan fourier dönüşümü yönteminin parmak izi görüntüsü üzerindeki etkisi irdelenerek uygulanması gerekmektedir.
- Fourier dönüşümlerinin parmak izi üzerindeki etkisi irdelendiğinde, STFT ile görüntünün tamamının analiz edilebileceği, böylece güvenilir yön ve frekans bilgisi çıkarımının gerçekleştirilebileceği görülmektedir.
- Frekans alanında, yön bilgisi çıkarımı gradyan tabanlı yaklaşımı ile yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yaklaşımda gürültüye karşı hassasiyetin yüksek olması, hem yön bilgisi çıkarımından önce hem de işlem uygulanırken görüntüdeki gürültünün elimine edilmesi gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Gradyan tabanlı yaklaşımın yanı sıra, model tabanlı ve filtreleme tabanlı yaklaşımlar ile parmak izinde güvenilir yön bilgisi çıkarımı elde edilebilmektedir.
- Frekans bilgisi çıkarımı, yön bilgisine bağlı olarak gerçekleştirilen bir aşamadır. Bu aşamanın yön bilgisine bağlı olması iyileştirme sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Bu durum da, frekans bilgisi değeri çıkarımında iyileştirme sürecinin uzamasına engel olan yön ve frekans bilgisini eş zamanlı çıkarılabilen bir yaklaşımın uygulanması gerekliliği önem arz etmektedir.
- Chikkerur ve arkadaşları tarafından önerilen yaklaşımda [48], görüntü STFT ile analiz edildiği için güvenilir yön ve frekans bilgisinin elde edilebileceği ve bunun da olasılıksal yaklaşımlar ile eş zamanlı olarak elde edildiği görülmüştür. Bu durumda da filtreleme işlemi, yüksek başarı ile kısa süre içerisinde uygulanabileceği için parmak izini iyileştirmede cazip oluğu görülmektedir.

Yön ve frekans bilgisi gibi temel özellikler çıkarıldıktan sonra parmak izi görüntülerine, Gabor, Angular, Band-geçirgen butterworth filtreleme gibi yaklaşımları uygulanmaktadır [17, 42, 48]. Veri edinim aşamasının farklılık göstermesine göre bu filtreleme yaklaşımlarının görüntü üzerindeki etkisi de değişmektedir. Temaslı alım yöntemlerinde, görüntü yüksek bir başarı oranı ile iyileştirilmektedir. Fakat temassız alım yönteminde görüntü kontrastının temaslı alım yöntemine göre düşük olmasından dolayı filtrelemenin başarısı da düşmektedir [58].

### Görüntü ikileştirme

Görüntü ikileştirme, piksel değeri 0-255 arasında değişen gri seviyeli görüntülerin siyah ve beyaz renk pikselleri ile gösterilmesi için uygulanan bir yöntemdir [2]. Bu yöntem uygulandıktan sonra görüntü, siyah renk yoğunluğunu ifade eden tepe çizgileri ve beyaz renk yoğunluğunu ifade eden vadi çizgilerinden oluşmaktadır.

Görüntü ikileştirme, parmak izinden güvenilir ayrıntı noktaları çıkarımı için gerekli bir aşamadır [71]. Bu yöntemin uygulanabilmesi için literatürde farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bunlardan en yaygını eşik değeri kullanmaktadır. Bu değer, görüntüden global ya da yerel olarak hesaplanabilmektedir. Global eşik değeri, görüntünün tamamındaki piksel değerleri temel alınarak hesaplanmaktadır. Yerel eşik değeri ise görüntünün bloklara ayrılması ile bloklardaki piksellerin temel alınması ile hesaplanmaktadır. Bu değer hesaplandıktan sonra görüntüdeki her bir piksel değeri ile karşılaştırılmaktadır.

|   |  |   |   |   |   |   |  |   |
|---|--|---|---|---|---|---|--|---|
| 7 |  | 8 |   | 1 |   | 2 |  | 3 |
|   |  |   |   |   |   |   |  |   |
| 6 |  | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 |  | 4 |
|   |  | 6 |   |   |   | 4 |  |   |
| 5 |  | 5 |   | C |   | 5 |  | 5 |
|   |  | 4 |   |   |   | 6 |  |   |
| 4 |  | 3 | 2 | 1 | 8 | 7 |  | 6 |
|   |  |   |   |   |   |   |  |   |
| 3 |  | 2 |   | 1 |   | 8 |  | 7 |

Şekil 3.11. Görüntü ikileştirme maskesi [80]

Karşılaştırma sonucunda piksel yoğunluğu eşik değerinden büyükse pikselin yeni değerine beyaz, küçük ise siyah renk yoğunluğu atanmaktadır [78- 80]. Görüntü ikileştirme için bir diğer yöntem ise maskelemedir. Bu yaklaşımda görüntüyü ikileştirmede Şekil 3.10'da verilen maske ve Eş. 3.10'daki formül kullanılmaktadır.

$$C = \begin{cases} 255, & 4S + S_{max} + S_{min} > \frac{3}{8} \left( \sum_{i=1}^8 S_i \right) \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (3.10)$$

Eş. 3.10'da, C merkez noktasını ifade ederken, S ise C'nin şiddetini ifade etmektedir. Maske üzerinde belirlenen 8 farklı yöne göre gri seviye değerleri toplanır. İlgili pikselin yeni renk yoğunluğu yön toplamı  $S_i$  en düşük  $S_{min}$  ve en yüksek  $S_{max}$  renk değeri kullanılarak hesaplanır.

### Görüntü inceltme

İnceltme, parmak izi görüntüsünün iskelet yapısını elde etmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir [2]. Bu yöntem ile parmak izi tepe çizgileri tek bir pikselle ifade edilmektedir. Yöntemin temel amacı; tepe çizgilerinin konum, yön ve uzunluğunu koruyarak güvenilir ayrıntı çıkarımını sağlamaktır. Bu doğrultuda bir inceltme algoritmasında bulunması gereken özelliklere aşağıda maddeler halinde yer verilmiştir [2, 79, 81]:

- Sahte ayrıntı çıkarımına neden olmamalı,
- Uç noktalar silinmemeli,
- Süreklilik sağlanmalı,
- Görüntü indirgenmemeli ve
- Hesaplama maliyeti düşük olmalıdır.

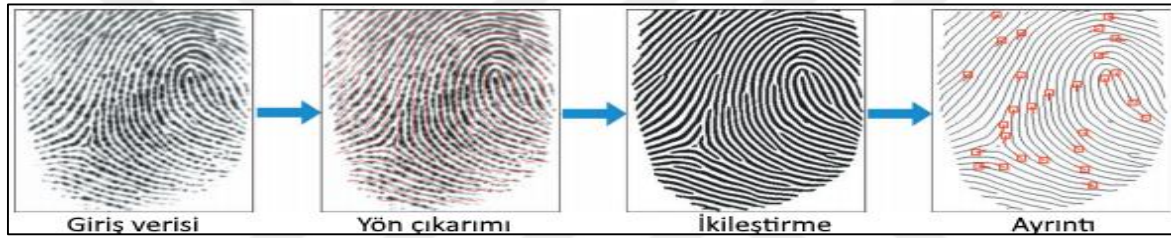
İnceltme, özyinelemeli ve özyinelemeli olmayan mesafe dönüşüm algoritmaları olmak üzere iki farklı yaklaşım ile uygulanabilmektedir. Özyinelemeli algoritmalar, görüntünün piksel kalınlığı tek piksel kalana kadar özyinelemeli olarak görüntü kalınlığını silmeye çalışan yöntemdir [2]. Bu yöntem, piksel kalınlığı değişken ve yönlü görüntü görüntüler için oldukça kullanışlıdır. Özyinelemeli olmayan inceltme algoritmaların ise yönlü görüntüler için kullanışlı olmadığı ifade edilmektedir. Bu nedenle parmak izi görüntülerine özyinelemeli inceltme algoritmaları uygulanmaktadır [78-80]. Bunlar arasında da en yaygın kullanılan inceltme algoritması morfolojik inceltmedir.

### **3.4. Parmak İzi Özellik Çıkarımı ve Eşleştirme**

Özellik çıkarımı, gerekli iyileştirme basamakları uygulanmış parmak izi görüntülerine uygulanmaktadır. Bu işlem ile parmak izi görüntülerinden yerel karakteristikler /ayrıntı noktaları (uç nokta, çatal nokta), global karakteristikler (delta ve çekirdek noktası) veya

yapısal karakteristikler (por delikleri, tepe çizgisi uzunluğu vb.) çıkarılmaktadır [2, 82]. Bu özelliklerden global karakteristikler, genellikle parmak izi görüntülerini sınıflandırmak; yerel ve yapısal karakteristikler ise parmak izi görüntüleri eşleştirmek için kullanılmaktadır.

Şekil 3.12’de, bir parmak izi görüntüsünden özellik çıkarımı algoritması için gerekli işlem basamaklarına yer verilmektedir. Algoritmada, ilk olarak normalize edilmiş giriş parmak izi görüntüsünden yön ve frekans bilgisi çıkarımı yapılmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda görüntüye bağlamsal filtreleme uygulanmaktadır. Daha sonra görüntü ikileştirme, inceltme yapılmaktadır. Ayrıntı noktaları (uç ve çatal) inceltilmiş bir görüntü üzerinden elde edilmektedir. Bu süreçte, her bir aşama diğer aşamalara bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.12. Parmak izi özellik çıkarım aşaması [82]

Parmak izinden özellik çıkarımı gerçekleştirildikten sonra, veritabanında kayıtlı ize ait özellikler ile eşleştirilmesi için benzerlik tabanlı eşleştirme (Correlation-based matching), ayrıntı tabanlı (Minutiae-based matching) ve ayrıntı harici tabanlı eşleştirme (Non-minutiae feature-based matching) tekniklerinden biri kullanılmaktadır [82].

- Benzerlik tabanlı eşleştirme (Correlation-based matching): Parmak izi görüntülerini piksel değerlerindeki kolerasyon ilişkisine göre eşleştiren bir yöntemdir [2, 82].
- Ayrıntı tabanlı eşleştirme (Minutiae-based matching): Parmak izi görüntüleri, iki boyutlu düzleme kaydedilen ayrıntı noktalarının (uç nokta, çatal nokta ) orijin ile yaptığı açı, x ve y koordinatları ile eşleştiren bir yöntemdir [2, 82].
- Ayrıntı harici tabanlı eşleştirme (Non-minutiae feature-based matching): Ayrıntı noktaları çıkarımı zor olan düşük kaliteli parmak izi görüntülerinde tepe çizgileri eğimi, şekli, yön bilgisi gibi unsurlar ile eşleştirme yöntemidir [2, 82].

Yukarıda ifade edilen eşleştirme arasında ayrıntı tabanlı, bilgisayar tabanlı yaklaşımlarda olduğu kadar parmak izi uzmanlarınca da en çok tercih edilen yaklaşımdır. Bu yaklaşımı cazip kılan unsurlara aşağıda maddeler halinde yer verilmiştir [82].

- Ayrıntı noktaları suçlu tespitinde yüzyıllardır güvenilir sonuç üretmekte,
- Veritabanında çıkarılan ayrıntı noktalarının saklanması kolay,
- Parmağın rotasyonunun değişmesine karşı algoritmanın hassasiyeti düşük,
- Görüntü düşük kaliteli olmadığı takdirde, iyileştirilmiş bir görüntüden rahatlıkla ayrıntı noktası çıkarımı yapılabilmektedir.

Ayrıntı tabanlı eşleştirmede, en yaygın üç temel özellik x ve y koordinat noktaları ve orijinle yaptığı açı değeridir. Bunlara bağlı olarak iki parmak izine ait öznitelik vektörleri Eş. 3.11 ve Eş. 3.12'deki gibidir [2].

$$T=\{m_1, m_2, \dots, m_m\}, m_i = \{x_i, y_i, \theta_i\}, i=1, \dots, m \quad (3.11)$$

$$I=\{m'_1, m'_2, \dots, m'_n\}, m'_j = \{x'_j, y'_j, \theta'_j\}, j=1, \dots, n \quad (3.12)$$

Yukarıdaki ifadede  $T$  ve  $I$  eşleştirilecek parmak izlerine dair öznitelik vektörleri,  $m$  ve  $n$  değerleri ise ayrıntı sayısını ifade etmektedir.  $I$  öznitelik vektöründeki  $m'_j$  ayrıntısıyla  $T$  öznitelik vektörüne ait  $m_i$  ayrıntı noktalarının eşleşebilmesi için koordinatlar arası uzaklık değerinin  $r_0$  tolerans değerinden küçük olması ve açısal farkın ise  $\theta_0$  tolerans değerinden küçük olması gerekmektedir. Bu hesaplamalar için Eş. 3.13 ile 3.14'deki eşitlikler kullanılır.

$$sd(m'_j, m_i) = \sqrt{(x'_j - x_i)^2 + (y'_j - y_i)^2} \leq r_0 \quad (3.13)$$

$$dd(m'_j, m_i) = \min(|\theta'_j - \theta_i|, 360^\circ - |\theta'_j - \theta_i|) \leq \theta_0 \quad (3.14)$$

Farklı açıdan alınmış parmak izlerde, eşleşen ayrıntı sayısını arttırabilmek için parmak izlerinden birinin diğerine göre kaydedilmesi gereklidir. Bunun için dönüşüm parametrelerinin  $(\Delta x, \Delta y, \theta)$  hesaplanması gerekmektedir. Bu parametreler ile parmak izleri farklı açılarla alınmış dahi olsa rahatlıkla eşleştirilmektedir. Eş. 3.15'de bir parmak izinin diğerine göre nasıl konumlandırıldığı, Eş. 3.16'da ise  $[\Delta x, \Delta y]$  noktaları saat yönüne göre  $\theta$  açısıyla yer değiştirmeyi ifade etmektedir [8].

$$\text{map}_{\Delta x, \Delta y, \theta} = (m'_j = \{x'_j, y'_j, \dots, \theta'_j\}) = m''_j = \{x''_j, y''_j, \theta'_j + \theta\} \quad (3.15)$$

$$\begin{bmatrix} x''_j \\ y''_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_j \\ y'_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Açısal gösterge fonksiyonu Eş. 3.17 ile hesaplanmaktadır.

$$mm(m''_j, m_i) = \begin{cases} 1, & (m'_j, m_i) < r_0 \text{ ve } dd(m'_j, m_i) < r_0 \\ 0, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (3.17)$$

Eşleşme fonksiyonu ise Eş. 3.18'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\max_{\Delta x, \Delta y, \theta} = \sum_{i=1}^m mm(\text{map}_{\Delta x, \Delta y, \theta}(m_{p(i)}, m_i)) \quad (3.18)$$

Bu ifadede,  $P(i)$  iki parmak izi arasındaki eşleşmeyi belirleyen bir fonksiyondur.  $P$  fonksiyonu için dört durum mevcuttur.

- $P(i)=j$ ,  $m''_j$  ve  $m_i$  arasında uyum söz konusu,
- $P(i)=\emptyset$ ,  $m''_j$  ve  $m_i$  arasında uyum söz konusu değilse,
- $P(i) \neq j \forall i = 1 \dots m$ , ayrıntı noktalarında uyum yoktur.
- $\forall i = 1 \dots m, k = 1 \dots m, i \neq k$  ise  $P(i) \neq P(k)$  ya da  $P(i) = P(k) = \emptyset$

### 3.5. Sistem Performansı Kriterleri

Parmak izi tanıma sistemlerinin performansını değerlendirmek için farklı ölçüt değerleri kullanılmaktadır [2]. Bu ölçüt değerleri, iki parmak izinin karşılaştırılması sonucu eşleşen özellik sayısının toplam özellik sayısına oranı temel alınarak hesaplanmaktadır. Eşleşme skoru ( $s$ ) olarak ifade edilen bu oran, 0-1 arasında bir değer olup 1'e ne kadar yakınsa izler birbirlerine o kadar benzerdir. Bu değer 0'a yakın olması ise izlerin birbirlerinden farklı olma olasılığın yüksek olduğunu ifade etmektedir. Tanıma sistemlerinin karar verme mekanizmalarında, parmak izlerinin aynı ya da farklı kişiye ait olduğunu belirlemek için eşleşme skoru ile belirlenen eşik değeri ile karşılaştırılması yapılmaktadır. Eşleşme skoru eşik değerinden küçük ise parmak izlerinin farklı kişilere ait olduğu, büyük ise parmak

izlerinin aynı kişiye ait olduğu kararına varılmaktadır [2, 82]. Buna göre tanıma sistemlerinde yaygın kullanılan hata tipleri aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmaktadır.

- Yanlış eşleşme oranı (False Acceptance Rate-FAR): Farklı kişilerden alınan iki parmak izinin aynı kişiye ait olduğu kararına varılması,
- Yanlış reddetme oranı (False Rejection Rate-FRR): Aynı kişiden alınan iki parmak izinin farklı kişilere ait olduğu kararına varılmasıdır.

Yukarıda ifade edilen oranların hesaplanmasında aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

1. Kayıtlı kişiye ait öznitelik vektörü ( $T$ ) ile karşılaştırılan öznitelik vektörü ( $I$ ) ya aynı kişiye ait ya da farklı kişiye aittir. Bu durum aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$H_0: I \neq T$ , Öznitelik vektörlerinin aynı kişiye ait olması,

$H_1: I = T$ , Öznitelik vektörlerinin farklı kişiye ait olmasıdır.

2. Bu durumların belirlenmesinde sistemin karar mekanizması, belirlenen eşik değeri ile eşleşme skoru karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda iki durum söz konusudur. Bunlar;

$D_0$ : Eşleşmeme, Eşleşme skoru eşik değerinden küçük,

$D_1$ : Eşleşme, Eşleşme skoru eşik değerinden büyüktür.

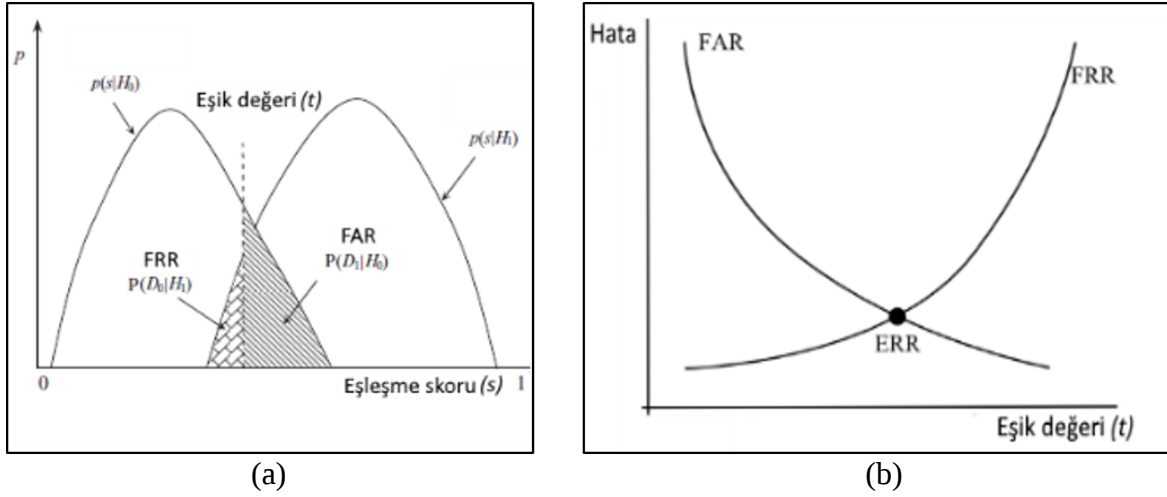
3. Buna göre aşağıdaki hata tipleri belirlenir.

- Hata1: Yanlış eşleşme ( $H_0$  durumunda sistemin  $D_1$  kararına varması)
- Hata2: Yanlış eşleşmeme ( $H_1$  durumunda sistemin  $D_0$  kararına varması)

Bu hata tiplerinin veritabanındaki tüm kayıtlı veriler ile dağılımı hesaplandığında ise FAR ve FRR değerleri hesaplanmaktadır. Buna göre; yanlış eşleşme oranı Hata1'in olasılığı, yanlış reddetme oranı ise Hata2'nin olasılığının hesaplanması ile bulunmaktadır. Bu durum aşağıdaki eşitlikte ifade edilmekte ve Şekil 3.13 (a)'da gösterilmektedir.

$$FAR = \int_0^t p(s|H_1)ds \quad (3.19)$$

$$FRR = \int_t^1 p(s|H_0)ds \quad (3.20)$$



Şekil 3.13. FAR, FRR ve EER değerlerinin hesaplanması [2] (a) FAR ve EER değerlerinin hesaplanması (b) EER değerinin hesaplanması

Eşit hata oranı (Equal Error Rate-EER), parmak izi tanıma sistemlerinde kullanılan bir diğer hata tipidir. Bu değer FAR'ın FRR eşit olduğu noktadaki hata oranını ifade etmekte ve sisteme erişimde eşit sayıda kişiyi yanlış olarak kabul ya da yanlış olarak reddetmektedir [82]. Bu değer hesaplanmasında, FAR ve FRR'nin eşik değerine göre grafikleri çizdirilir ve bu iki değer kesiştiği nokta EER değeri olarak tanımlanır.



## 4. ÖNERİLEN PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ

Türkiye’de 90’lı yılların başında, kişisel bilgisayarların bireyler arasında kullanımının yaygınlaşması “dijital devrim” adı verilen yapıyı beraberinde getirmektedir. İlerleyen yıllarda ise dijital devrimle mobil iletişim teknolojileri beraber konumlandırılması ile akıllı telefonlar ve tabletler ortaya çıkmıştır. Böylece akıllı devrim çağına geçiş yapılmıştır [83]. Akıllı devrim çağında, bu cihazların kullanım oranı dünya çapında hızla artmaya başlamıştır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte her yeni mobil cihazın özelliği bir öncekine göre daha iyi konuma getirilmektedir. Bu sayede kişiler, mobil cihazlarla yalnızca iletişim kurmakla kalmıyor fotoğraf çekme, kişisel verileri depolama ve bankacılık işlemlerini gerçekleştirme gibi birçok özelliği bir arada yapabilme imkânına sahip olmaktadır [20, 71].

Literatürdeki çalışmalar irdelendiğinde [11-13, 22-24, 71], mobil cihazların kullanım oranının ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte kameralarının çözünürlüğünün de artması sayesinde parmak izi görüntülerinin temassız elde edilebileceği görülmektedir. Fakat mobil cihazlar, biyometrik görüntü çekimi için tasarlanmadığından ışık, odaklama, bulanıklık ve alan derinliği gibi özelliklerin kaliteli parmak izi görüntüsünün elde edimini zorlaştırmaktadır [22]. Tez kapsamında, bu gibi zorluklar göz önünde bulundurularak mobil cihaz ile veri edinimi aşaması gerçekleştiren bir prototip geliştirilmiştir. Bu prototip ile parmak izi görüntüleri standart bir ortamdan elde edilmiş ve daha sonra ise bir tanıma sistemi tasarlanarak sistem performansı test edilmiştir. Bu kapsamda tasarlanan sistem, bir biyometrik tanıma sürecini içermektedir. Dolayısıyla bu sistem biyometrik tanıma sistemleri çalışma prensibi gereğince dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; veri edinim, görüntü analiz, ayrıştırma ve eşleştirmedir. Aşağıdaki alt başlıklarda mobil parmak izi tanıma sistemleri ile ilgili literatürdeki çalışmalara yer verilmiş ve önerilen sistemin her bir aşaması detaylı olarak açıklanmıştır.

### 4.1. Literatür Taraması

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte, mobil cihazların kamera çözünürlüğünün artması yüksek kalitede parmak izi görüntüleri çekebilme imkânı sunmaktadır [20]. Bu cihazlar ile elde edilen parmak izi görüntüleri ile tanıma sistemi tasarlamaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda [11, 12, 20, 22-24, 58, 62, 71, 73], tanıma sistemi

tasarlamak için görüntü elde edilirken ortam şartlarının değişken olması ve kullanılan cihazın teknolojisinin tanıma sürecinin performansını etkilediği görülmüştür. Bu nedenle, irdelenen çalışmalarda veri edinim aşamasında ya da görüntü analiz aşamasında farklı işlem basamakları uygulanmıştır.

Odaklama, ölçeklenebilirlik, parmak bölgesi tespiti, ışık, parmak ile sensör arası uzaklık, çözünürlük, parmağın dönmesi mobil tanıma sistemi tasarımında en çok karşılaşılan problemler olduğu görülmüştür [11, 12, 20, 22-24, 58, 62, 71, 73]. Bu problemlerin çözümü için parmak ile kamera arası mesafe ayarlanması, cihazın otomatik odaklama özelliğinin kullanılması, ortamda harici olarak ya da cihazın ışık kaynağı ile aydınlatılması, dönme, ölçeklenebilirlik ve parmak bölgesi tespiti ise yazılım kullanılması önerilen çözümlerdir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen literatürdeki çalışmalar aşağıda özetlenmiş ve Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Stein ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [23], Samsung “Nexus S” ve “Galaxy Nexus” mobil cihazları ile elde edilen parmak izi görüntüleri kullanılarak tanıma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde parmak izi görüntüleri elde edilirken ortam, mobil cihazın dâhili ışık kaynağı ile aydınlatılmış ve görüntüyü daha detaylı elde edebilmek adına cihazların makro özelliğinden yararlanılmıştır. Bu şekilde elde edilen görüntülerin öncelikli olarak kalitesi hesaplanmış ve tanıma sürecine tabi tutulup tutulmayacağı belirlenmiştir. Bu hesaplama sonucunda kaliteli olarak nitelendirilirse diğer aşamalara tabi tutulmuştur. Diğer aşamalarda ise görüntüye segmentasyon, ölçeklendirme, döndürme ve filtreleme işlemleri uygulanmıştır. Filtreleme işleminde, görüntüdeki gürültüyü azaltmak için medyan filtreleme kullanılmıştır. Bu işlemler sonucunda parmak izi, görüntü ikileştirme işlemine tabi tutulmuş ve FingerJetFX açık kaynak kodu kullanılarak ayrıntı çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, her iki cihazla elde edilen parmak izi görüntülerinde sonuçların benzer olduğu ve aynı ortam şartlarında EER oranının %22,3, en yüksek başarı oranının %19,1 olduğu görülmüştür.

Hiew ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [11], temaslı alım sensörlerinin de (optik, kapasitif vb.) karşılaşılan problemler üzerinde durulmuş ve dijital kamera ile elde edilen parmak izi görüntüleri üzerinde çekirdek (core) noktası tespiti yapılmıştır. Çalışmalarında ortam şartları sabit tutulmuş ve parmak izi görüntüsü; cihazın makro özelliği ile 4-6 cm arası uzaklıkta, harici bir ışık kaynağı ile elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen

parmak izi görüntüleri görüntü gri seviyeli formata çevrilerek görüntüye normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Aynı zamanda renkli görüntü, segmentasyon aşamasına tabi tutulmuş ve görüntünün ikili maskesi ile normalize edilmiş görüntü birleştirilmiştir. Bu aşamadan elde edilen görüntüye ise sırasıyla kesme, STFT ile iyileştirme, yön çıkarımı ve çekirdek noktası tespiti uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde, çekirdek noktaların %95.44 oranında doğru elde edildiği, yanlış tespit edilen noktaların ise ortamdaki ışık kaynağının iyileştirme üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Hiew ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada [12], dijital kamera ile elde edilen görüntüler ile parmak izi tanıma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemin ortam şartları ve görüntü analiz aşamasında kullanılan yaklaşım Hiew ve arkadaşlarının çalışması [11], ile aynıdır. Diğer çalışmalarında, tespit edilen çekirdek noktası merkez alınarak 200x200 piksel boyutunda bir görüntüden Gabor filtreleme tabanlı ayrıştırma çıkarım uygulanmıştır. Çıkarılan veri boyutu fazla olduğu ifade edilmiş boyutu azaltmak amacıyla PCA (Principle Component Analysis) uygulanmıştır. Eşleştirme aşamasında ise Kosinüs açısı, Manhattan ve Öklid uzaklığı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, sistem performansı PCA kullanmadan özellikler eşleştirildiğinde EER %5.63 başarı oranı elde edildiği görülmüştür.

Sankaran ve arkadaşları ise [24], Apple “iPhone 5s” kullanılarak elde edilen parmak izi görüntüleri ile bir tanıma sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan sistemde ortam koşullarına dair kısıtlayıcı bir unsur olmayıp görüntüler, hem açık hem de kapalı bir alanda ve farklı uzaklıktan çekilmiştir. Daha sonra bu görüntülere sırasıyla segmentasyon, normalizasyon uygulanmıştır. Parmak izindeki ayrıntı noktaları ise ScatNet ile çıkarılmış ve eşleştirmede bu yaklaşım ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, açık alanda çekilen görüntülerde tanıma sistemi performansının kapalı alanda çekilen görüntülere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü açık alanda ortamda birden farklı ışık kaynağının olması görüntünün görünürlüğünün artmasına neden olmasından kaynaklanmaktadır. Buna göre tasarlanan sistem performansı EER ile ölçülmüş ve bu değer %3-10 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Raghavendra ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [72], mobil cihazlarla elde edilen parmak izi görüntüleri ile doğrulama yapabilmek için bir yaklaşım önerilmiştir. Kullanılan mobil cihazlar Apple “iPhone 4”, Samsung “Galaxy S1” ve Nokia “N8”dir. Önerilen yaklaşımın işlem basamakları ise segmentasyon, normalizasyon, ölçeklendirme, ayrıştırma

çıkartımı ve eşleştirmedir. Segmentasyon aşamasında MSS (Mean Shift Segmantation) algoritması uygulanmış ve parmak bölgesini arka plan bölgesinde ayırt edebilmek için PCC (Pearson Correlation coefficient), Fourier spektrumu genliği, dalgacık dönüşümü tabanlı enerji ölçütlerini kullanmışlardır. Bu aşamadan sonra elde edilen görüntülerdeki gürültü, bulanıklık parmağın hareketinden kaynaklı bozulmaları giderebilmek amacıyla görüntüye Wiener filtreleme, Gauss filtreleme uygulanmıştır. Daha sonra ise, k-ortalama yöntemine dayalı görüntü ölçeklendirme yapılmıştır. Doğrulama aşaması açık kaynak kodlu yazılım ile ayrıntı tabanlı gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen çalışmalar kıyaslandığında, Samsung S1 ile elde edilen görüntülerde EER oranı %3.74 ile en yüksek sonucu verdiği görülmüştür.

Lee ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da [20], mobil parmak izi görüntüsü çekilirken odaklama, kayma, odak noktası vb. durumlardan parmak izi görüntüsü tanıma sistemleri için yeterli olmadığını belirterek uygun görüntü seçimi için bir algoritma geliştirmişlerdir. Böylece, ek sensör gerektirmeden ve parmağı ayarlamak zorunda kalmadan mobil cihaz yardımıyla elde edilen görüntüden tanımayı mümkün kılmışlardır. Görüntü elde edilirken ortam bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış ve bu sayede görüntünün belirginliği artırılmıştır. Odak uzaklığı 5.25 olarak belirlenmiş ve lens pozisyonu da her fotoğraf çekimi esnasında manuel ayarlanmıştır. Önerilen algoritmayı test edebilmek için tanıma sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan tanıma sistemi aşamalarında iyileştirmede Half Gabor filtreleme, doğrulamada ise ayrıntı tabanlı yaklaşım kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda sistem performansının EER %3.02 olduğu görülmüştür. Sistem tarafından kabul edilmeyen izlerde, dönme açısı ve parmağın kayma problemlerinin fazla olduğu ve bu yüzden reddedildiği ifade edilmiştir.

Derawi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da [22], Nokia “N95” ve HTC “Desire” mobil cihazları ile toplanan parmak izleri ile bir biyometrik tanıma sistemi tasarlanmıştır. Sistem tasarlanmadan önce, veri edimini zorlaştıracak problemler üzerinde durulmuş ve bu doğrultuda veri edinim aşaması oluşturulmuştur. Bu problemler, mobil cihazların her ortamda kullanılması ve bu cihazların biyometrik görüntü çekimi için tasarlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle çalışmada, bu unsurlar üzerine değinilerek iyi kalitede parmak izi görüntüsü çekmek için veri edinim ortamı oluşturmuşlardır. Parmak izi görüntüleri, kapalı bir ortamda arka plan bölgesi sabitlenerek toplanmıştır. Toplanan parmak izi görüntüleri ön işleme aşamasına tabi tutulduktan sonra Verifinger 6,0 Extended SDK yazılımı kullanılarak ayrıntı çıkartımı gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar

karşılaştırıldığında, Nokia N95 ile elde edilen parmak izi görüntüleri için EER oranının, HTC “Desire” göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, N95 mobil cihazının otomatik odaklama özelliği, görüntüyü 10-60 cm arasında yakınlaştırma özelliğinin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu doğrultuda, N95 ile elde edilen görüntülerde EER %4.5 ile en yüksek sonucu verdiği görülmüştür.

Stein ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [71], mobil cihazın kamerası çekilen videodaki birden fazla parmak izi görüntüleri ile bir tanıma sistemi tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında video kullanmanın avantajı, kısa zaman aralığında çok fazla parmak izi görüntü elde etmek olarak ifade edilmiştir. Aynı zamanda mobil cihazlarla elde edilen parmak izi görüntüleri taklit edilebilirliği yüzünden çalışma kapsamında veri edinimde video görüntülerine yönelmişlerdir. Görüntü ön işleme aşamasında, RGB görüntüde kırmızı banttaki piksel yoğunluğu kullanılarak parmak tespiti yapılmış ve daha sonra görüntü gri seviyeye dönüştürülmüştür. Görüntüdeki gürültü etkisini azaltmak amacıyla medyan filtreleme uygulanmıştır. Parmak izi görüntüsünde ayrıntı bölgesini içeren kısmı ayırt edebilmek için görüntüye adaptif eşik değeri ile binarizasyon yöntemi uygulanmıştır. Parmak izi görüntüleri farklı uzaklıklardan çekildiği için ayrıntı tabanlı eşleştirmeyi zorlaştırmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında, görüntü ölçeklendirme işlemi uygulanmıştır. Ayrıntı çıkarım ise MorphoLite SDK yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, video görüntüleri ile tanıma sistemi performansının EER %3 olduğu görülmüştür.

Birajadar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [58], mobil parmak izi görüntülerinde ışık, ortam koşulları gibi unsurların tanıma sistemi tasarımını zorlaştırdığı belirtilerek yeni bir görüntü iyileştirme yöntemi önerilmiştir. Sistem performansını test edebilmek için “Xiaomi Redmi Note 3 Pro” ile elde edilen mobil parmak izi görüntülerini kullanmışlardır. Tasarlanan sistemdeki görüntüler, cihazın flaşı ve otomatik odaklama özelliği kullanılarak toplanmıştır. Bu şekilde elde edilen renkli görüntülerde, parmak tespiti için deri rengi yaklaşımını kullanmışlar ve görüntünün binary maskesini elde etmişlerdir. Daha sonra görüntü, 200x400 olacak şekilde yeniden boyutlandırılmıştır. İyileştirme ise Monogenic dalgacık yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımda kenar tespiti için Pater Kovesi’nin geliştirdiği [84] PC (Phase Congruency) yaklaşımını kullanmışlardır. Bunun en önemli avantajı, parmak izi görüntülerindeki tepe ve vadi çizgilerinin kontrastını artırarak kenar çıkarımını kolaylaştırmaktır. Bu açıdan parmak izi görüntülerinde sobel ve candy gibi

yaklaşımlara göre daha fazla iyileştirme olanağı sunduğu ifade edilmektedir. Ayrıntı çıkarımı ve eşleştirme VeriFinger SDK 7.1'de gerçekleştirilmiş, EER %7.4 oranında başarı elde edilmiştir.

Tiwari ve Gupta tarafından yapılan çalışmada [62], mobil parmak izi görüntülerindeki ayrıntı bölgesini otomatik segmete eden ve ölçeklenebilirlik problemi olmayan bir yaklaşım önererek tanıma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde ortam koşullarına dair kısıtlayıcı bir unsur bulunmamaktadır. Veri edinimde de, kullanılan mobil cihaz belirtilmemiştir. Cihazın makro, flaş ve otomatik odaklama özelliğinden faydalanarak parmak izi görüntüleri toplanmıştır. Segmentasyon aşamasında, ilk olarak renkli RGB görüntü gri seviyeli görüntüye dönüştürülmektedir. Daha sonra adaptif eşik değeri ile binarizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Binarizasyon işlemi sonucunda görüntüdeki hataları giderebilmek amacıyla morfolojik işlemler uygulanıp görüntüde döndürme işlemi gerçekleştirilmektedir. Döndürme işlemini gerçekleştirebilmek için PCA yöntemi uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda görüntüye ADhist (Adaptive histogram equalization) uygulanarak görüntü iyileştirme aşaması tamamlanmıştır. Ayrıntı çıkarımında, SURF (Speeded-up robust features) yaklaşımı kullanılarak ayrıntı noktaları elde edilmiştir. Eşleştirme ise Öklid uzaklığı ile ayrıntı noktasındaki komşuluğundaki en yakın ayrıntı noktalarının uzaklığına göre gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda sistem performansının EER %3.33 olduğu görülmüştür.

Gupta ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da [73], mobil cihazla parmak izi görüntülerini elde edebilen bu görüntüleri optik sensörlerle elde edilen görüntüler ile eşleştirebilen bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yaklaşım FVC 2004 DB1 ve DB2 test edilmiştir. Mobil parmak izi görüntüsü, Android işletim sistemine sahip cihazlarda çalışan open kamera uygulaması ile çekilmiştir. Ortamdaki ışık problemini azaltmak için cihazın HDR (High Dynamic Rance) özelliği kullanılmıştır. Görüntüde gürültüyü azaltmak için ise CLAHE (Contrast limited adaptive histogram equalization) yöntemini uygulamışlardır. Bu işlemde sonra renkli RGB görüntü gri seviyeli görüntüye dönüştürülerek bloklara ayrılmıştır. Her bir bloğa histogram eşitleme yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra görüntüye Gabor filtreleme uygulanarak görüntü iyileştirme aşaması tamamlanmıştır. Görüntüde özellik noktaları çıkarımı ve eşleştirme Source AFIS [13], açık kaynak kodu ile gerçekleştirilmiş ve EER %6-15 arası bir başarı elde edilmiştir.

Mueller ve Reillo tarafından yapılan çalışmada [99], web kamera ile elde edilen parmak izini tanıma için iki aşamalı tanıma sistemi tasarımı önermişlerdir. Parmak izleri toplanırken ortam harici bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış ve parmak izlerini detaylı elde etmek için cam bardak kullanılarak görüntü çekilmiştir. İyileştirme de, histogram eşitleme, normalizasyon gibi yaklaşımların web kamera ile elde edilen görüntüler için yeterli olmadığı ifade edilmiş ve bu görüntülerin Gamma Kolerasyon yaklaşımı, yönlü Fourier dönüşümü ile iyileştirmiştir. Özellik çıkarım ve eşleştirme ise NIST yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, Apple, Microsoft ve Philips marka bilgisayarların web kamerası ile çekilmiş 400 parmak izi görüntüsü üzerinde test edilmiş ve FAR %0.18, FRR ise %10.29 oranında başarı elde edilmiştir.



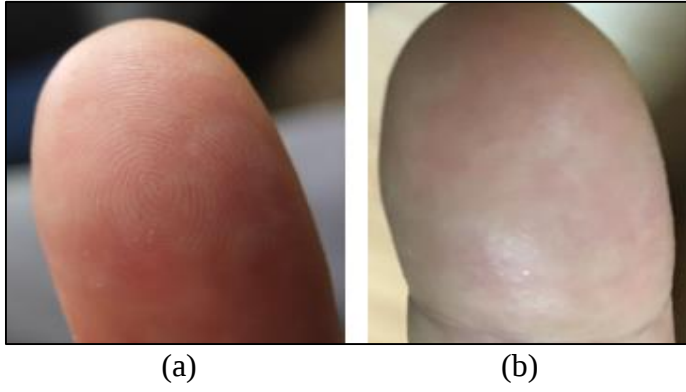
| Kay.     | Veri edinim cihazı        | Amaç                               | Yöntemler                                                                                               | Zorluklar                                               | Ortam koşulları | Parmak-kamera uzaklığı | Çözünürlük (Mp) | Makro özellik Dâhili (D), Harici (H) |   | Işık kaynağı  | Veritabanı             | Başarım                               |
|----------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|--------------------------------------|---|---------------|------------------------|---------------------------------------|
|          |                           |                                    |                                                                                                         |                                                         |                 |                        |                 | H                                    | D |               |                        |                                       |
| [23]     | Nexus S, Galaxy Nexus     | Tanırma sistemi tasarımı           | Sobel filtre, Parmak tespiti ve döndürme algoritması, medyan filtre, FingerJetFX ile ayrıntı çıkarımı   | Segmentasyon, parmak tespiti, parmak yön açısı          | Standart değil  | Sabit değil            | 5               | -                                    | + | LED           | 41 kişi: 1494 görüntü  | EER: %19.1                            |
| [11]     | Canon PowerShot Pro1      | Çekirdek noktası tespiti           | Deri rengi tespiti algoritması, STFT Çekirdek noktası tespiti algoritması                               | Odaklama, ışık, alan derinliği                          | Standart        | Sabit                  | 8               | -                                    | + | LED           | -                      | %95.44 doğru çekirdek noktası tespiti |
| [12]     | Canon PowerShot Pro1      | Tanırma sistemi tasarımı           | Deri rengi tespiti algoritması, STFT, Çekirdek noktası tespiti algoritması, Gabor ayrıntı çıkarımı, PCA | Odaklama, bulanıklık, ışık, alan derinliği, veri boyutu | Standart        | Sabit                  | 8               | -                                    | + | LED           | 103 kişi: 1030 görüntü | EER: %5.63                            |
| [24]     | Iphone 5s                 | Tanırma sistemi tasarımı           | Medyan filtre, Histogram eşitleme, Gauss filtre, Scatnet                                                | Kapalı ortamda performans düşüklüğü                     | Standart değil  | Sabit değil            | 8               | -                                    | - | Flaş          | 64 kişi: 5100 görüntü  | EER %3-10                             |
| [72]     | Iphone 4, Galaxy S1 ve N8 | Tanırma sistemi tasarımı           | Wiener ve Gauss filtre, MSS, PCC, Fourier spektrumu genliği, dalgacık dönüşümü, MINDTCT, BOZORTH3       | Çözünürlük, Dönme, Ölçekleme Segmentasyon               | Standart değil  | Sabit değil            | 5-13            | -                                    | - | Kullanılmamış | 25 kişi: 1800 görüntü  | EER: %3.74                            |
| [20]     | PDA cihazı                | Uygun görüntü seçimi               | Odak ölçümü algoritması, Half Gabor filtreleme,                                                         | Segmentasyon, odaklama, dönme,                          | Standart değil  | Sabit değil            | Belirsiz        | -                                    | - | Belirsiz      | 15 kişi: 1320 görüntü  | EER: %3.02                            |
| [22]     | N95, HTC Desire           | Tanırma sistemi tasarımı           | Verifinger 6.0 Extended SDK                                                                             | Odaklama, çözünürlük, uzaklık                           | Standart        | Sabit                  | 5               | -                                    | + | Flaş          | 22 kişi: 1320 görüntü  | EER: %4.5                             |
| [71]     | Nexus S, Galaxy Nexus     | Video ile tanıma sistemi tasarımı  | Segmentasyon, deri rengi tespiti, ölçekleme, görüntü kesme, MorphoLite SDK                              | Işık ve segmentasyon                                    | Standart değil  | Sabit değil            | 5               | -                                    | - | Kullanılmamış | 37 kişi: 990 görüntü   | EER: %3.0, FAR:%0.1, FRR:%2.7-%6.7    |
| [58]     | Xiaomi Redmi Note 3 Pro   | Tanırma sistemi tasarımı           | Deri rengi tespiti, Monogenic dalgacık tabanlı PC, VeriFinger SDK                                       | Işık, uzaklık, çözünürlük                               | Standart değil  | Sabit değil            | 16              | -                                    | - | Flaş          | 50 kişi: 200 görüntü   | EER: %7.4                             |
| [62]     | Belirsiz                  | Tanırma sistemi tasarımı           | Adaptif eşik değeri, PCA, ADhist, SURF                                                                  | Işık                                                    | Standart değil  | Sabit değil            | Belirsiz        | -                                    | + | Flaş          | 50 kişi: 150 görüntü   | EER: %3.33                            |
| [73]     | Belirsiz                  | Optik-mobil görüntü eşleştirilmesi | CLAHE, Gabor filtre, Source AFIS                                                                        | Segmentasyon, dönme, kayma                              | Standart değil  | Sabit değil            | 16              | -                                    | - | Flaş          | -                      | EER: %6-15                            |
| [99]     | Web kamera                | Tanırma sistemi tasarımı           | Gama kolerasyon, yönlü Fourier filters, NIST                                                            | Işık, segmentasyon                                      | Standart değil  | Sabit                  | Belirsiz        | -                                    | - | LED           | 6 kişi: 400 görüntü    | FAR:%0.18 FRR:%10.29                  |
| Önerilen | Iphone 6s                 | Tanırma sistemi tasarımı           | Eşik değeri ile segmentasyon, CLAHE, STFT ile filtreleme, Source AFIS                                   | -                                                       | Standart        | Sabit                  | 12              | +                                    | - | LED           | 26 kişi: 104 görüntü   | FAR:0.0001, FRR:0.03                  |

Mevcut literatür çalışmalarında, mobil parmak izi tanıma tasarım sürecinin biyometrik tasarım süreci ile aynı doğrultuda tasarlanabileceği ve tasarım sürecindeki temel problemlerin veri edinim aşamasından kaynaklandığı görülmüştür. Bunun için önerilen çözümler; veri edinim aşamasında ışık kaynağı kullanımı, makro özellik kullanımı, parmak ile kamera arası mesafenin sabitlenmesidir. Bu yaklaşımların uygulanmadığı çalışmalarda ise problemler, görüntü analiz aşamasında yazılımsal yaklaşımlar ile çözülmektedir. Bu unsurlar, veri edinim aşamasında giderilebilmesi ile görüntü analiz sürecinde işlem basamaklarını en aza indirgenebileceği irdelenen çalışmalarda görülmektedir. Bu tez kapsamında, tanıma sistemi tasarımında karşılaşılan problemler üzerinde durularak bu sorunları en aza indirgeyecek şekilde ortam şartları standardize edilmiş ve mobil cihazlar ile temassız olarak parmak izi toplamak için bir prototip geliştirilmiştir.

#### **4.2. Mobil Parmak İzi Tanıma Sistemlerinde Karşılaşılan Zorluklar**

Mobil parmak izi görüntüleri, bulunduğu ortamdan cihazın kamerası yardımı ile temassız olarak elde edilmektedir. Temassız parmak izi elde etmenin ise birçok avantajı vardır. Bunların başında basınçtan kaynaklı hatayı ve hijyen problemini ortadan kaldırması gelmektedir. Aynı zamanda sensörde bir önceki basımdan kalan izlerin (latent) olmaması, veriyi doğru bir şekilde elde etme sürecini kolaylaştırmaktadır [20]. Fakat bunların yanı sıra temassız parmak izi elde etmenin birçok dezavantajı da bulunmaktadır. Bu sorunlar mobil cihazların biyometrik görüntü çekimi için tasarlanmadığından kaynaklanmaktadır [22]. Buna bağlı olarak, ışık ve arka plan bölgesinin değişken olması, çözünürlük, bit ve alan derinliği gibi unsurlar parmak izi tanıma sistemi tasarımını zorlaştırmaktadır. Bu unsurlar parmak izi görüntü kalitesinin değişkenlik göstermesine neden olduğu için tanıma sistemi performansını etkilemektedir.

Parmak izi görüntüsünün tanıma sisteminde geçerli olabilmesi için tepe ve vadi çizgilerinin belirgin ve ayırt edilebilir olması gereklidir [2]. Çünkü tanıma sistemlerinde, bu çizgilerin konumu, şekli, uzunluğu, ayrıntı noktaları (uç, çatal vb.) kullanılarak kişi tanınması yapılmaktadır. Şekil 4.1’de dijital fotoğraf makinası ve mobil cihaz kamerası yardımıyla temassız elde edilmiş iki parmak izi görüntüsüne yer verilmiştir. Görülmektedir ki, Şekil 4.1 (a)’daki dijital kamera ile elde edilen parmak izi görüntüsünde tepe ve vadi çizgileri belirgin ve Şekil 4.1 (b)’ye göre daha kalitelidir. Bu görüntü kalitesini etkileyen birçok unsur bulunmakta olup bunlar aşağıda alt başlıklar halinde detayı açıklanmaktadır.

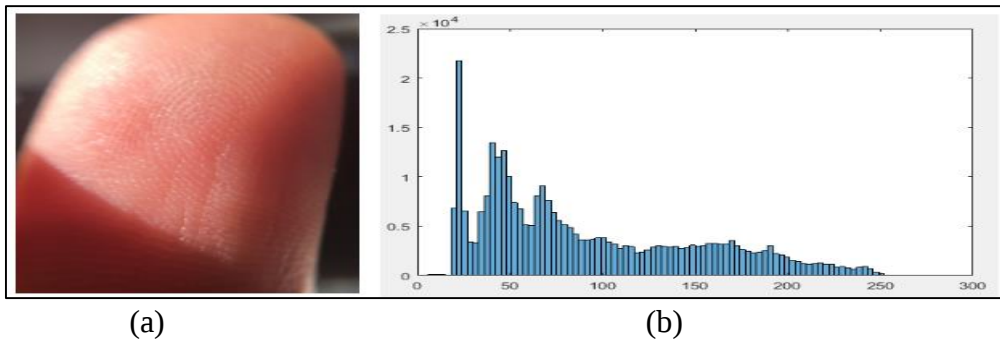


Şekil 4.1. Kamera ile elde edilen parmak izi görüntüleri (a) Dijital fotoğraf makinası (b) Mobil cihaz

#### 4.2.1. Işık kaynağı

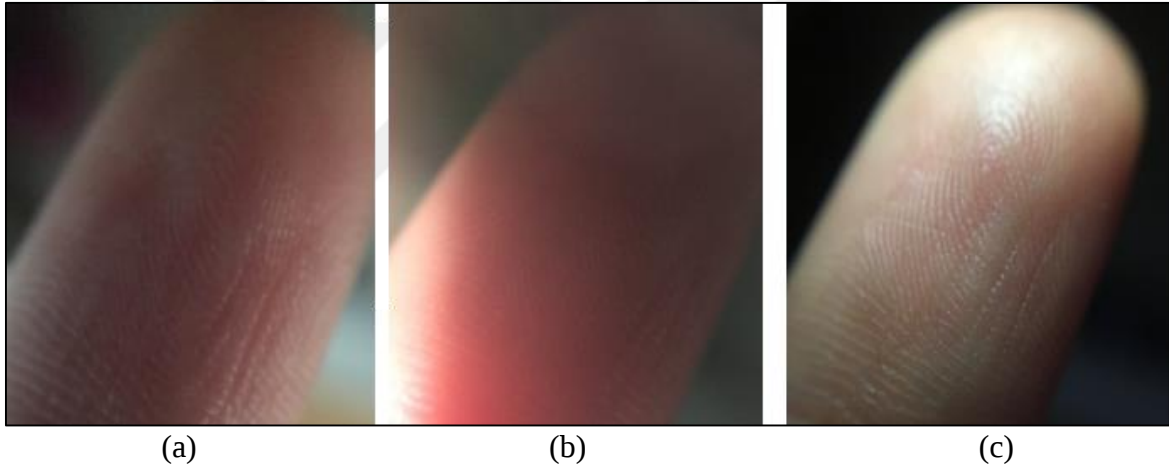
Bir objeyi görebilmek için kullanılan aydınlatma araçlarına ışık kaynağı denilmektedir. Işık kaynakları doğal (güneş, ay, yıldız vb. ) ya da yapay (el feneri, lamba, mum vb.) olabilmektedir. Doğal ışık kaynakları ortama kendiliğinden ışık yayarken yapay ışık kaynakları depolanmış bir enerji ile ortama ışık yaymaktadır [85].

Mobil parmak izi görüntüleri, her türlü ortamdan elde edilebileceği için çevresel koşullar sürekli değişkenlik göstermektedir. Haliyle ortamdaki ışık kaynağı da değişmektedir. Parmağın alım ortamına göre ışık kaynağı da görüntünün kalitesinin değişkenlik göstermesine neden olabilir. Örneğin açık bir ortamda doğal ışık kaynağına maruz kalan bir parmak izi görüntüsünün (Şekil 4.2 (a)) renk piksellerinin yoğunluk değerleri bölgesel olarak değişkenlik gösterdiği Şekil 4.2 (b)'de görülmektedir. Bu durum da parmak izi görüntüsünde tepe ve vadi çizgilerinin ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır.



Şekil 4.2. Doğal ışık kaynağına maruz kalan parmak izi görüntüsü (a) Mobil cihazla elde edilen görüntü (b) Görüntünün histogram bilgisi

Kapalı bir ortamda elde edilen parmak izi görüntülerinde ise doğal ışık kaynağı yetersiz olabilmektedir. Bu nedenle görüntünün belirginliğini arttırabilmek adına yapay ışık kaynakları kullanılmaktadır. Şekil 4.3’de kapalı ve aydınlık bir ortamda çekilmiş parmak izi görüntülerine yer verilmiştir. Görülmektedir ki, bu görüntü açık ortamda çekilen görüntüye (Şekil 4.2 (a)) göre daha bulanık, tepe ve vadi çizgilerinin de belirginliği düşüktür. Literatürde, bu problemi çözebilmek için cihazların flaş özelliği kullanılmış ya da ortam LED (Light Emitting Diode, Işık Yayan Diyot) ile aydınlatılmıştır [11, 12, 22]. Flaş kullanılarak çekilen görüntüde (Şekil 4.3 (b)), ışık yakın mesafeden çekilen görüntülerde tek bir noktaya odaklandığı için ışık dağılımı düzgün olmamasına, tepe ve vadi çizgileri belirginliğinin diğer görüntülere göre oldukça az olmasına neden olduğu görülmektedir. Fakat LED kullanılarak çekilen görüntüde (Şekil 4.3 (c)), ise tepe ve vadi çizgilerinin diğer görüntülere göre belirgindir.

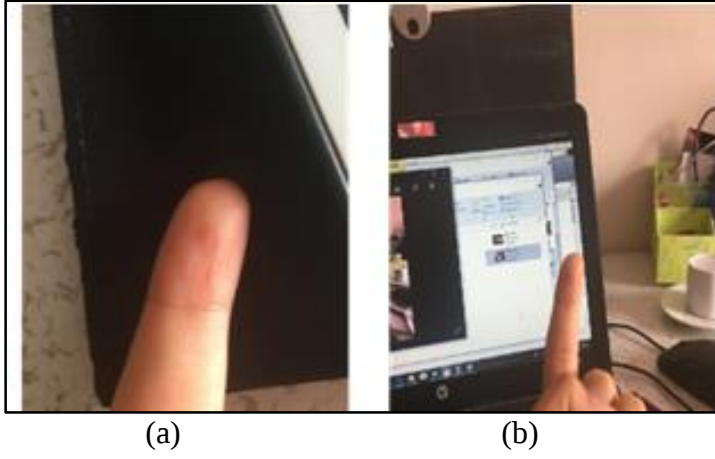


Şekil 4.3. Kapalı ve aydınlık ortamdaki parmak izi görüntüleri (a) Işık kaynağı kullanılmadan çekilen görüntü (b) Flaş özelliği ile çekilen görüntü (c) Ortamda LED kullanılarak çekilen görüntü

Ortamda kullanılan ışık kaynakları, görüntünün belirginliğinin artmasına, bulanıklığın ve gürültünün azalmasına neden olduğu için mobil parmak izi görüntüleri için oldukça önemlidir [11, 12, 23]. Fakat kullanılan ışık kaynağı da yukarıda ifade edildiği üzere görüntüde olumlu ya da olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle ışık kaynağının sabit ve farklı açılardan test edilerek belirlenmesi gerekliği ön plana çıkmaktadır. Tez kapsamında da, parmak izi görüntüleri farklı ışık kaynakları ile test edilerek ortamdaki ışık kaynağı belirlenmiştir (Bölüm 4.3.3’de detaylı olarak açıklanmıştır).

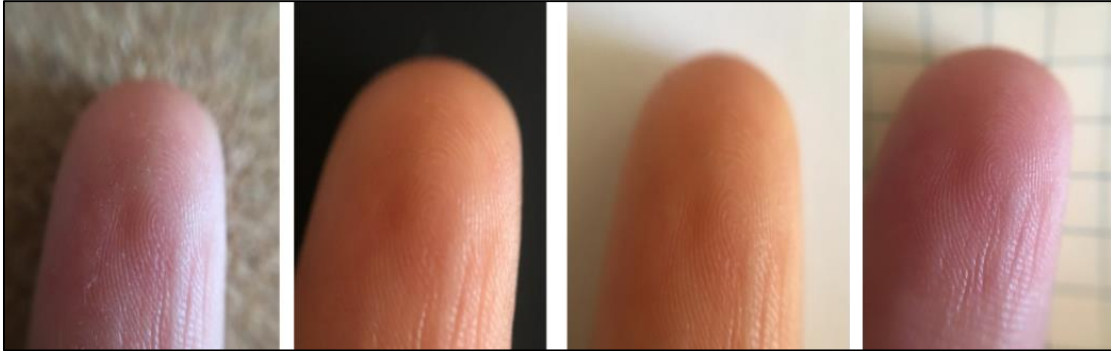
#### 4.2.2. Arka plan bölgesi

Mobil parmak izi görüntüleri her ortamda çekilebileceği için görüntünün arka plan bölgesi sürekli değişmektedir. Arka plan bölgesi standart olmadığı takdirde parmak ile kamera arası mesafeye göre de görüntüdeki obje sayıda artmaktadır. Bu objelerin parmak bölgesinden ayırt edilebilmesi de görüntü işleme sürecinin uzamasına neden olmaktadır [22]. Bu nedenle görüntünün arka plan bölgesinin sabit olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.4’de arka plan bölgesi sabit olmayan ve farklı mesafeden çekilmiş parmak izi görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 4.4. Arka plan bölgesi sabit olmayan parmak izi görüntüleri (a) Yakın mesafeden çekilmiş görüntü (b) Uzak mesafeden çekilmiş görüntü

Arka plan bölgesindeki renk değişimi, parmak izi görüntü tepe ve vadi çizgilerinin belirginliğini etkisini incelemek için aynı ortam şartlarında dört farklı arka plan bölgesi ile parmak izi görüntüleri çekilmiştir (Şekil 4.5).



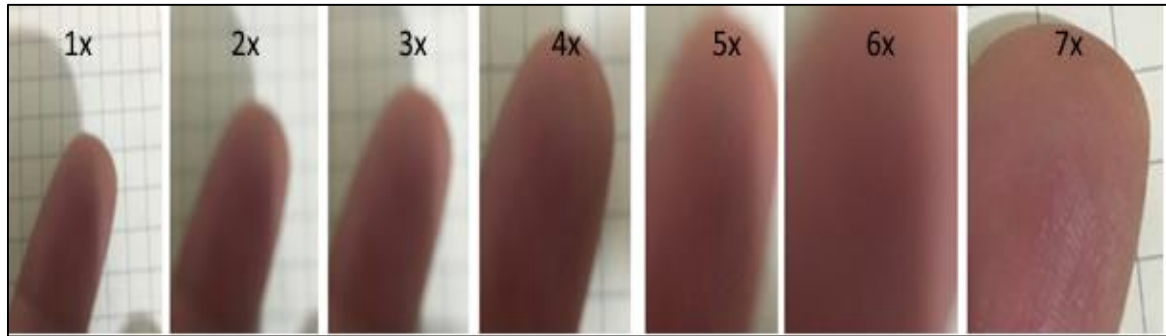
Şekil 4.5. Arka plan bölgesi değişken olan parmak izi görüntüleri

### 4.2.3. Çözünürlük

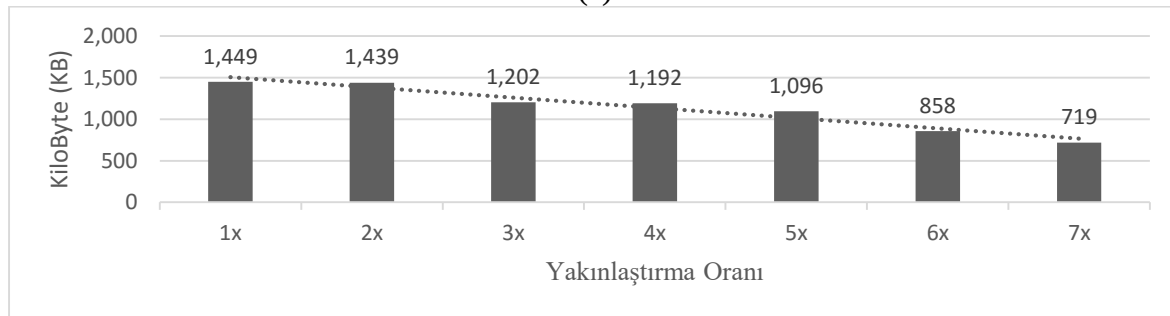
Görüntünün tamamını oluşturan piksellerin sayısı, yani görüntünün yatay ve dikey ekseninde bulunan piksellerin sayısı çözünürlük olarak ifade edilmektedir. Örneğin, yatay ekseninde 2048, dikey ekseninde 1536 piksel olan bir görüntüde toplam piksel sayısı 3145728 olup çözünürlüğü 3.1 mega pikseldir. Görüntüde piksel sayısı ne kadar fazla ise görüntü çözünürlüğü o kadar yüksek ve kalitelidir [86]. Fakat çözünürlük tek başına görüntü kalitesi ifade etmek için yeterli bir unsur değil, bunun yanı sıra görüntü kalitesini bit ve alan derinliğinin de etkilediği ifade edilmektedir [87-89].

#### Bit derinliği

Görüntüler dijital ortamda renkli ya da gri seviyeli olarak ifade edilmektedir. Renkli görüntülerde her bir pikselin renk değeri aralığı 8-24 bit arasında, gri seviyeli görüntülerde ise en fazla 8 bit aralığında değişmektedir [87]. Bu aralıklar bir pikselin bit derinliği olarak tanımlanmaktadır. Değer aralığının yüksek olması görüntünün gerçeğe yakın ve kaliteli; düşük olması ise görüntünün kalitesiz olduğunu ifade etmektedir [86-89].



(a)



(b)

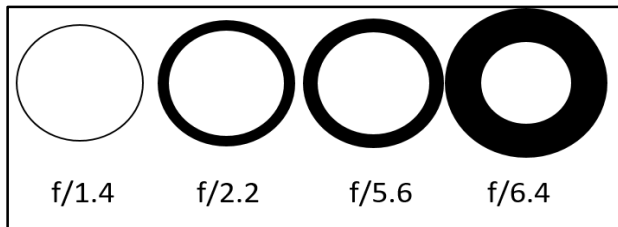
Şekil 4.6. Mobil cihazla elde edilen görüntülerin yakınlaştırılması (a) Yakınlaştırma özelliği ile çekilmiş parmak izi görüntüleri (b) Görüntü dosya boyutundaki değişimler

Tez kapsamında, bit derinliğinin görüntü üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek amacıyla çözünürlüğü 12 megapiksel olan mobil cihazın yakınlaştırma özelliği ile görüntüler yedi kat yakınlaştırılarak çekilmiş (Şekil 4.6 (a)) ve incelenmiştir. Görülmektedir ki, görüntü yakınlaştırıldıkça tepe ve vadi çizgileri belirginleşme, fakat görüntünün dosya boyutu düşmektedir (Şekil 4.6 (b)). Bu durumda görüntünün bit derinliğinin azalması görüntü kalitesinin düştüğü anlamına gelmektedir. Çünkü dosya boyutu, bit derinliği ile orantılı olarak değişmektedir [87]. Eş. 4.1’de, dosya boyutunun hesaplanması için kullanılan ifadeye yer verilmiştir. Bunun yanı sıra, cihazların optik görüntü sabitleyici özelliği olmadığı için fotoğrafı çeken kişinin el titremesi görüntünün bulanıklaşmasına neden olmaktadır [90].

$$\text{Dosya boyutu} = \text{Çözünürlük (düşey nokta sayısı x yatay nokta sayısı) x bit derinliği} \quad (4.1)$$

#### Alan derinliği

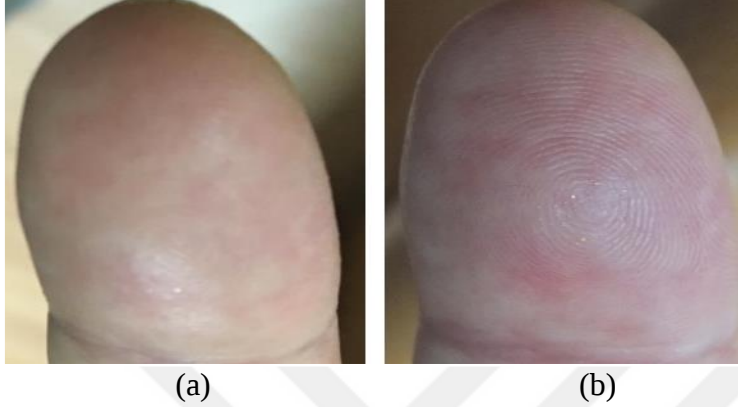
Görüntüde ön plandaki en net nokta ile arka plandaki en net nokta arasındaki mesafeye alan derinliği olarak tanımlanmaktadır [87]. Görüntünün net elde edilebilmesi için önemli bir unsur olan alan derinliği üç unsura bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bunlar; diyafram, objektifin odak uzaklığı ve objenin kameraya uzaklığıdır [87-89]. Diyafram, görüntü çekim esnasında lenste oluşan açıklık olup “F/değer” ile gösterilir. Bu değer arttıkça diyaframın açıklığı azalır (Şekil 4.7) ve buna bağlı olarak görüntü netliği azalmaktadır [88, 89]. Profesyonel fotoğraf makinalarında diyafram açıklık değeri ayarlanabilir olup genellikle F/1.2 ile F/4.6 arasındadır [89]. Fakat günümüzdeki çoğu mobil cihazların diyafram değeri F/2.2’nin üstündedir [91]. Bu durum alan derinliğinin dar olduğu ve mobil cihazlarla net görüntü elde etmedeki zorluğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.7. Diyafram açıklığı

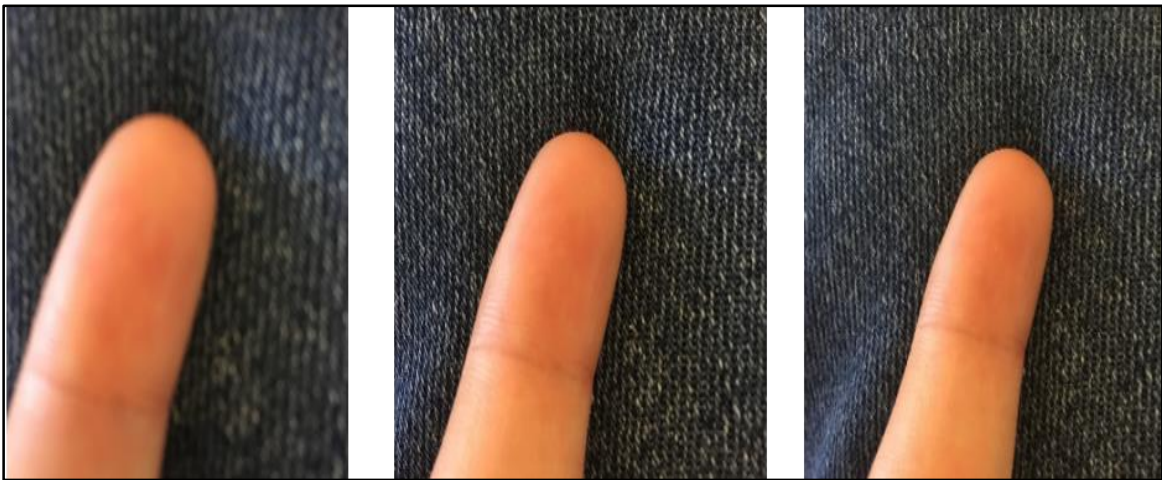
Şekilde 4.8’de kamerası 12 mega piksel olan iPhone “6s” ve Fujifilm XF1 ile çekilmiş parmak izi görüntülere yer verilmiştir. Her iki görüntüde, kapalı ve aydınlık bir ortamda 4-

6 cm uzaklıkta ve yakınlaştırma özelliği kullanılmadan çekilmiştir. iPhone 6s ve Fujifilm XF1 için kameraların diyafram açıklıkları sırasıyla, F/2.2, F1.8'dir. Görülmektedir ki diyafram açıklığı geniş olan Fujifilm XF1 ile çekilen görüntüde tepe ve vadi çizgileri mobil cihazla çekilen görüntüye göre daha belirgindir.



Şekil 4.8. Aynı ortam koşullarında çekilmiş parmak izi görüntüleri a) Mobil cihaz ile çekilmiş görüntü b) Fujifilm XF1 ile çekilmiş görüntü

Alan derinliğini etkileyen diğer unsurlar ise objenin kameraya olan uzaklığı ve odak uzaklığıdır. Bu uzaklık değerleri arttıkça görüntünün alan derinliği de artmakta ve kaliteli görüntüler elde edilmektedir [88, 89]. Tez kapsamında, bu unsurun görüntü üzerindeki etkisini gösterebilmek için aynı ortam koşullarında cihazın yakınlaştırma özelliği kullanılmadan farklı uzaklıklarda çekilmiş parmak izi görüntülerine yer verilmiştir (Şekil 4.9).



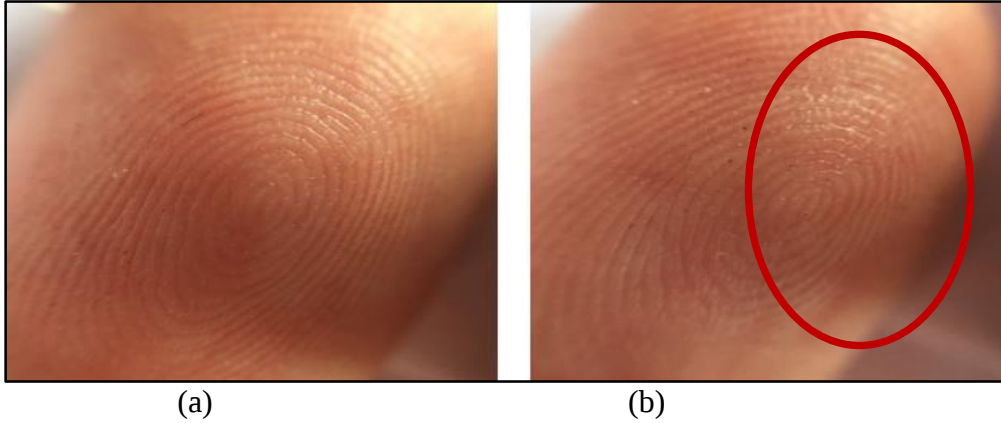
Şekil 4.9. Parmağın farklı uzaklıklarda çekimi

Görülmektedir ki, yakın bir mesafeden çekilen parmak izi görüntüsünde alan derinliği dar olup görüntü bulanıktır. Parmağın sensör ile arasındaki uzaklık arttıkça görüntünün netliği de artmaktadır. Fakat görüntü netleşse dahi mobil cihazla elde edilen parmak izi görüntülerinde tepe ve vadi çizgilerinin belirgin değildir. Literatürde [11, 12, 23], bu sorunu çözebilmek için cihazların makro özelliğinden yararlanıldığı görülmüştür. Fakat makro özellik mobil cihazların çoğunda bulunmamaktadır [91]. Tez kapsamında bu problem, harici makro lens kullanılarak çözülmüştür.

#### 4.2.4. Parmak ile kamera arası mesafe

Mobil cihazlarda karşılaşılan bir diğer problem ise, parmak ile kamera arası mesafenin değişkenlik göstermesidir. Bu probleme bağlı olarak görüntülerin yeniden boyutlandırılması gerekliliğini ortaya çıkarmakta ve tanıma sistemlerinde ölçekleme problemine yol açmaktadır [20, 72]. Bu problemde ayrıntı noktalarının eşleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Literatürde, bu problemi çözebilmek için bu mesafenin sabit tutulduğu [11, 12], görüntü analiz aşamasında ölçekleme [20, 72] yaklaşımı kullanıldığı ya da farklı eşleştirme basamaklarının uygulandığı [24] görülmüştür. Tez kapsamında, parmak ile sensör arası mesafe deneysel çalışmalar neticesinde belirlenerek sabitlenmiştir (Bölümde 4.3.2. detaylı açıklanmıştır).

Parmağın fotoğrafı çekilirken sensör ile yaptığı açı ve parmağın ani hareket ettirilmesi tanıma sistemini etkilemektedir. Parmağın en küçük bir dönme hareketinde bile görüntüde bazı önemli ayrıntı noktalarının yok olmasına (Şekil 4.10 (b)) ve ani hareketi ise görüntünün bulanıklaşmasına neden olmaktadır [20]. Dolayısıyla bu unsurlardan kaynaklı tanıma sistemi performansı düşmektedir. Literatürde bu amaçla, parmak kamera ile dik açıyla yakın bir derecede konumlandırılacak şekilde görüntü çekildiği görülmektedir [11, 12, 20]. Tez kapsamında da bu sorun, parmak hareketini kısıtlayacak şekilde kameraya dik konuma getirilerek çözülmüştür. Bu sayede kişinin parmağını hareket ettirmesi kısıtlanmış ve dönmeden kaynaklı ayrıntı noktalarının yok olması büyük oranda çözülmüştür. Aynı zamanda parmağın ani harekete bağlı bulanıklık sorunu giderilmiştir.



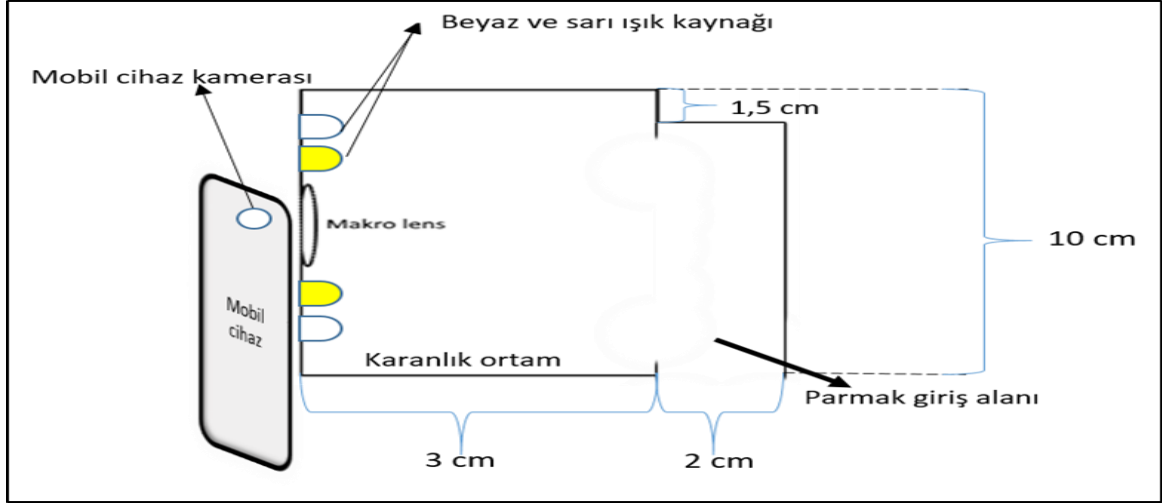
Şekil 4.10. Parmak ile kamera açısına bağlı ayrıntı noktalarının görünürlüğü (a) Dik açı ile çekilmiş görüntü (b) Parmağın dönmesi ile çekilmiş görüntü

Parmak izi görüntüleri, yukarıda değinilen problemlere maruz kalmadan bulunduğu ortamdan temassız olarak elde edilebilmesi için temassız alım sensörleri ya da profesyonel makineler kullanılmaktadır. Fakat bu cihazların hacimce ağır ve maliyetinin yüksek olması kullanım alanlarını kısıtlamaktadır [58]. Bu nedenle tez kapsamında, kullanım oranı gittikçe yaygınlaşan mobil cihazlarla kaliteli parmak izi görüntü alımı için yukarıda değinilen problemler göz önünde bulundurularak veri edinim aşaması tasarlanmış ve ortam şartları standardize edilmiştir.

#### 4.3. Veri Edinim Aşaması Tasarımı

Tez kapsamında tasarlanan veri edinim aşamasında, parmak izi görüntüsü mobil cihazların kamerası ile fiziksel ortamdan elde edilmektedir. Bu aşama tasarlanırken, mobil cihazlar ile parmak izi elde etmedeki zorluklar göz önünde bulundurulmuş ve aşağıda maddeler halinde yer verilen unsurlar doğrultusunda ortam koşullarının standardize edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bunlar;

- Makro özellik kullanımı,
- Parmak ile kamera arası mesafenin belirlenmesi,
- Işık kaynağı seçimi ve ışık kaynağının konumlandırılması ve
- Arka plan bölgesi ve parmak giriş alanının sabitlenmesidir.



(a)



(b)

Şekil 4.11. Geliştirilen prototip tasarımı ve mobil parmak izi alma cihazı (a) Geliştirilen prototip tasarımı (b) Mobil parmak izi alma cihazı

Tez kapsamında, yukarıdaki unsurlar doğrultusunda veri edinim ortamını standardize etmek için deneysel çalışmalar yapılmış ve bir prototip geliştirilmiştir. Geliştirilen prototip sayesinde, yüksek kalitede parmak izi veri edinimi gerçekleştirilerek görüntü analiz sürecindeki işlem basamakları azaltılmıştır. Şekil 4.11’de, geliştirilen prototip tasarımına ve mobil parmak izi alma cihazına yer verilmiş olup tasarım aşamaları aşağıdaki alt başlıklarda detaylı açıklanmaktadır.

#### 4.3.1. Makro özellik kullanımı

Mobil cihazlar ile yüksek kalitede görüntü elde etmek mümkündür. Fakat bu cihazlar biyometrik görüntü çekimi için tasarlanmadığından parmak izi hat çizgileri detaylı elde edilmesi mümkün değildir [22]. Çünkü mobil cihazların çözünürlüğü, alan derinliği, odak uzaklığı gibi unsurlar görüntünün detaylı elde edinimini kısıtlamaktadır. Literatürde bu problemi çözebilmek için mobil cihazların yakınlaştırma ya da makro özelliğinden yararlanılmaktadır [11, 12, 23]. Yakınlaştırma özelliği ile parmak izi görüntülerinde detay

elde edilirken, bu özellik ile görüntünün bit derinliğinin azalmasına neden olarak görüntü kalitesinin düşmesine yol açmaktadır (Bölüm 4.2’de detaylı açıklanmıştır). Aynı zamanda, mobil cihazın optik görüntü sabitleyici olmadığı takdirde yakınlaştırma özelliği ile fotoğraf çekenin en küçük bir el hareketi dahi görüntünün bulanıklaşmasına neden olmaktadır. Bu bakımdan bu özelliğin kullanımı, parmak izi görüntüsünü detaylı çekebilmek için elverişli değildir.

Makro özellik, görüntüsü çekilecek objenin gerçek boyutu ya da olduğundan daha büyük bir boyutta dijital ortama aktarımı için kullanılan objektifler olup bu özelliğin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [23, 92].

- Makro özellik ile objektifin diyafram açıklığı artmakta ve böylece görüntüyü kaliteli elde etme imkânı sunmakta,
- Yakınlaştırma özelliği kullanılmadan kaliteli görüntü elde etme imkânı sunmakta,
- Makro lensin büyütme oranına göre görüntüyü ya gerçek boyutta ya da olduğundan daha büyük boyutta dijital ortama aktararak görüntüdeki detayları görebilme imkânı sunmaktadır.

Bu özellikler sayesinde, parmak izindeki hat çizgileri mobil cihazlar ile detaylı elde edilmekte ve bu görüntüler ile yüksek başarı oranında tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir [11, 12, 23].

Makro özellik, dijital fotoğraf makinaların çoğunda bulunan bir özellik olmasına rağmen mobil cihazların birçoğunda mevcut değildir. Fakat mobil cihaza harici olarak adapte olan lensler sayesinde makro özellik sağlanmaktadır. Bu lensler, geniş diyafram açıklığı sunması ile ayrıntılı görüntü çekebilme imkânı sağlamaktadır [88, 89]. Tez kapsamında, makro lenslerin yukarıda ifade edilen avantajları göz önünde bulundurularak parmak izi hat çizgilerini ayrıntılı elde edebilmek için dijital fotoğraf makinalarında makro özelliği sağlayabilmek amacıyla kullanılan ince kenarlı mercek kullanılmıştır.

#### 4.3.2. Parmak ile kamera arası mesafenin belirlenmesi

Makro özellik ile görüntü dijital ortama gerçek boyutta ya da olduğundan büyük bir boyutta aktarılmaktadır. Bu özellik ile belirli mesafedeki görüntüler net elde edilebilmektedir.

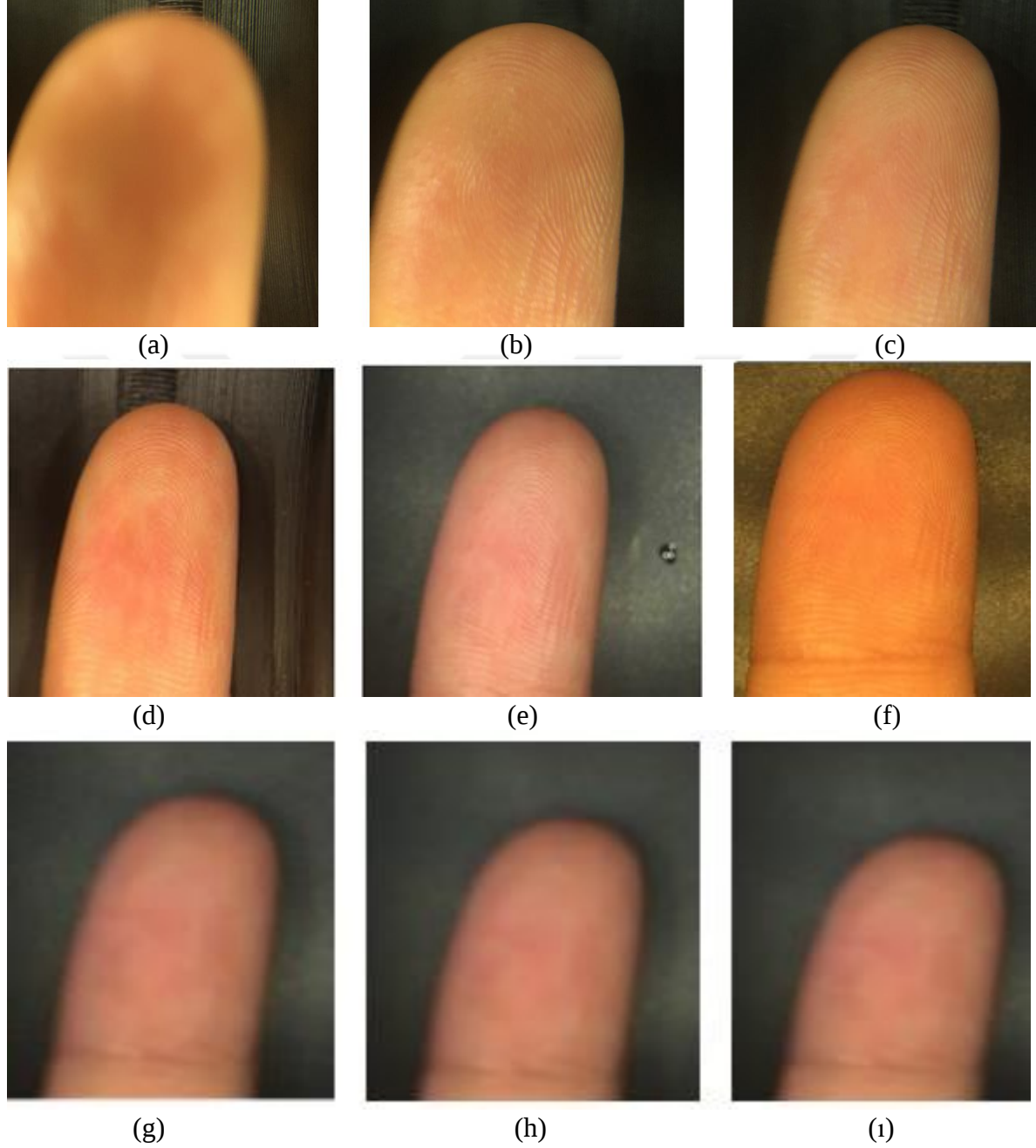
Makro özellik sağladığı bu avantaj sayesinde, görüntüyü belirli bir mesafeden detaylı elde edilebilmektedir. Bu durumda da, mobil parmak izi görüntülerinde karşılaşılan en önemli problem olan ölçekleme [22, 72] sorunu çözülmektedir.

Ölçekleme, görüntünün ayrıntı çıkarımı için yeniden boyutlandırılmasıdır [72]. Bu yöntem, mobil parmak izi görüntülerinin eşleştirme sürecini kolaylaştırmak için uygulanmaktadır. Çünkü parmak ile sensör arası mesafenin değişken olması, parmak izi ayrıntı noktalarının (uç ve çatal nokta ) veri tabanında koordinat değerlerinin ve orijin ile yaptığı açının farklı olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, görüntü eşleştirme başarısı da düşmektedir. Literatürde bu sorunun giderilmesi için farklı çözüm önerileri sunulmuştur [11, 12, 20, 24, 74]. Bunlar; parmak ile kamera arası mesafenin sabitlenmesi, görüntü analiz aşamasında ölçekleme yaklaşımı kullanımı ve eşleştirme basamağında farklı tekniklerin kullanımıdır. Bu yöntemlerden, ölçekleme yaklaşımı görüntü analiz aşamasında MSS (Mean Shift Segmentation) gibi algoritma kullanılarak uygulanmaktadır. Bu yaklaşım ile eşleştirme yönteminin başarısı yüksek olmasına rağmen görüntü analiz aşamasında işlem basamaklarının artmasına neden olmaktadır. Bir diğer çözüm önerisi olan eşleştirme basamağının değişmesinde ise görüntü PCA, Scatnet gibi yaklaşımlar ile özellik çıkarımına tabi tutulmaktadır. Fakat bu yöntemlerden PCA ile ayrıntı çıkarımında, görüntüdeki veri boyutu oldukça fazladır [12]. Bu nedenle bu verilerin ayıklanması gerekmektedir. Scatnette kullanılan yaklaşımda ise [24], ortam koşulları sabitlenmeden çekildiği için ortamdaki ışık gibi unsurlar ayrıntı çıkarımını zorlaştırmaktadır.

Tez kapsamında parmak izi görüntülerini eşleştirmede yüksek başarı sunan ve yaygın kullanılan ayrıntı tabanlı yaklaşım ile eşleştirme aşamasını gerçekleştirebilmek için parmak ile kamera arası mesafe sabit tutulmuştur. Bu mesafenin belirlenmesinde makro özelliğin obje ile kamera arası mesafeyi azaltması avantajından yararlanılmıştır. Tez kapsamında, uygun aralığın belirlenmesi için parmak izi görüntüleri makro özellik yardımı ile yaklaşık 1 cm arttırılarak çekilmiş ve bu görüntülere Şekil 4.12’de yer verilmiştir.

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere, parmak ile sensör arası mesafe 3-5 cm uzaklıktan çekildiğinde parmak üzerindeki hat çizgileri belirgin ve ayırt edilebilir niteliktedir. Fakat mesafe 1-3 cm arasında ya da 5 cm’den fazla olduğunda görüntü bulanıklaşmaktadır. Bulanık görüntülerde, hat çizgileri belirgin olmadığı için tanıma sistemleri için görüntü

kalitesi yeterli değildir. Bu nedenle tez kapsamında, parmak ile sensör arası mesafe 3-5 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.12. Parmak ile sensör arası mesafenin değişmesi (a) Yaklaşık 0-1 cm uzaklıktaki görüntü (b) Yaklaşık 1-2 cm uzaklıktaki görüntü (c) Yaklaşık 2-3 cm uzaklıktaki görüntü (d) Yaklaşık 3-4 cm uzaklıktaki görüntü (e) Yaklaşık 3-4 cm uzaklıktaki görüntü (f) Yaklaşık 4-5 cm uzaklıktaki görüntü (g) Yaklaşık 5-6 cm uzaklıktaki görüntü (h) Yaklaşık 5-6 cm uzaklıktaki görüntü (i) Yaklaşık 6-7 cm uzaklıktaki görüntü

#### 4.3.3. Işık kaynağı seçimi

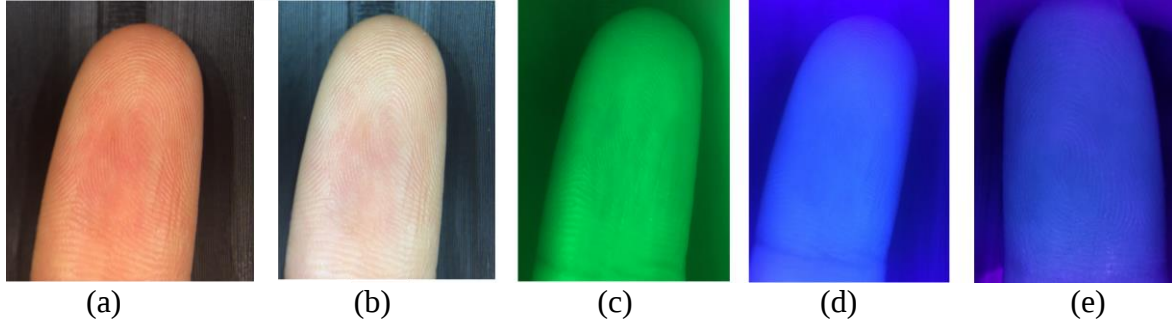
Mobil parmak izi görüntüleri, her türlü ortamdan elde edilebileceği için ortamdaki ışık kaynakları değişmektedir. Işık kaynağının değişmesi de, görüntünün belirginliğini etkilemektedir. Bu durum, mobil parmak izi tanıma sürecini etkileyen önemli bir problemdir [11, 12, 23, 24]. Literatürdeki çalışmalarda, bu problemi çözebilmek için ortamın harici ışık kaynakları ile aydınlatılması gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Ortamdaki ışık kaynağı, dalga boyuna bağlı olarak parmak izi görüntü belirginliğinin değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Literatürde dalga boyunun parmak izi görüntüsü üzerindeki etkisini irdelemek için birçok çalışma yapılmış ve dalga boyu uzun olan ışık kaynaklarında görüntünün daha belirgin, düşük dalga boylu ışık kaynaklarında ise görüntünün belirginliğinin az olduğu sonucuna varılmıştır [11-16]. Tez kapsamında farklı dalga boyu uzunluğundaki ışık kaynaklarının mobil parmak izi görüntüsü üzerindeki etkisi irdelenerek (Şekil 4.13) uygun ışık kaynağı seçimi yapılmıştır. Çizelge 4.2’de tez kapsamında irdelenen ışık kaynaklarına ve bu ışık kaynaklarının dalga boyu aralıklarına yer verilmiştir.

Çizelge 4.2. Işık kaynağı renkleri ve dalga boyu aralığı [93, 94]

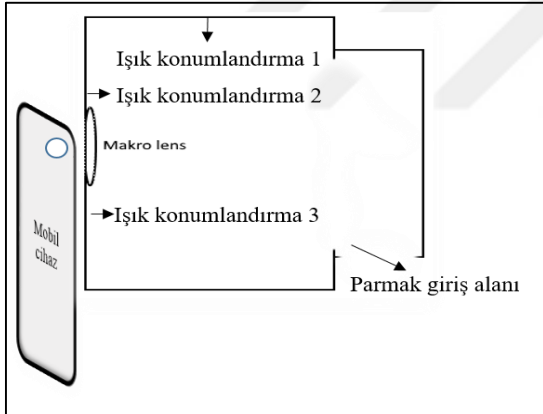
| Işık kaynağı renkleri | Dalga boyu aralığı (nm) |
|-----------------------|-------------------------|
| Sarı                  | ~ 590–560 nm            |
| Yeşil                 | ~ 560–490 nm            |
| Mavi                  | ~ 490–450 nm            |
| UV (Ultraviolet)      | ~ 400-100 nm            |

Şekil 4.13’de görüldüğü üzere, yeşil, mavi ve UV ışık kaynağı ile çekilen mobil parmak izi görüntülerinde hat çizgilerinin belirginliği oldukça düşüktür. Fakat sarı ve beyaz ışık kaynağı ile bu durum söz konusu olmayıp hat çizgileri ayırt edilebilir niteliktedir. Bu nedenle tez kapsamında, ortamda kullanılacak ışık kaynağı sarı ve beyaz olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.13. Mobil parmak izi görüntülerinin farklı ışık kaynakları ile test edilmesi (a) Sarı ışık kaynağı ile parmak görüntüsü (b) Beyaz ışık kaynağı ile parmak görüntüsü (c) Yeşil ışık kaynağı ile parmak görüntüsü (d) Mavi ışık kaynağı ile parmak görüntüsü (e) UV ışık kaynağı ile parmak görüntüsü

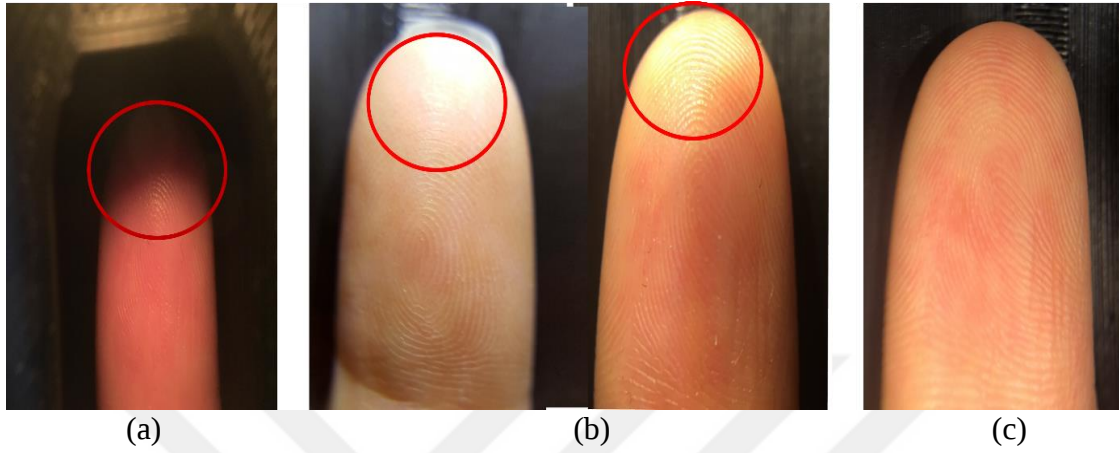
Tez kapsamında, ortamdaki ışık kaynağı seçiminin yanı sıra ışığın konumlandırılması da, parmak izi hat çizgilerinin belirginliğini etkilediği görülmüştür. Bu nedenle, ışık kaynağı Şekil 4.14’de görüldüğü üzere üç farklı konumlandırma ile parmak izi görüntüsü üzerindeki etkisi irdelenmiştir.



Şekil 4.14. Işık kaynağını konumlandırma örnekleri

Konumlandırma örneklerinden birincisinde (ışık konumlandırma 1) ışık yaklaşık 45 derece açı ile parmak üzerinde düşmektedir. Bu durumda, parmağın bir bölgesine ışık etki ederken diğer bölgede ışık etki etmemektedir. Bu durumda da görüntüde gölgelenmeye neden olup (Şekil 4.15 (a)) ayrıntı çıkarımını zorlaştırmaktadır. Diğer konumlandırma örneklerinde ise (ışık konumlandırma 2, ışık konumlandırma 3), ışık parmağa dik bir açı ile tek bir noktadan verilmektedir. Işığın parmak üzerine düştüğü bölgenin, parmağın diğer bölgelerine göre daha aydınlık olduğu görülmektedir (Şekil 4.15 (b)). Bu durumda, aydınlık bölgelerdeki hat çizgilerinin belirginliğini etkileyerek ayrıntı çıkarımını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ışığın

homojen olarak parmak üzerine verilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Tez kapsamında ışığın parmak üzerine homojen dağılım göstermesi için ışık kaynakları 2. ve 3. konumlandırılmasına yerleştirilmiş ve Şekil 4.15 (c)'de bu görüntü örneğine yer verilmiştir.



Şekil 4.15. Işık kaynağının geliş açısına göre parmak izi görüntüleri (a) Işığın yaklaşık 45 derece açı ile konumlandırılması (b) Işığın dik açı ile tek bir noktada konumlandırılması (c) Işığın parmak izinde homojen dağılım göstermesi

#### 4.3.4. Arka plan bölgesi ve parmak giriş alanının sabitlenmesi

Mobil cihazla elde edilen parmak izi görüntüleri için en temel unsurlardan biri de segmentasyondur [24]. Segmentasyon işlemi ile parmak bulunduğu ortamdan ayırt edilmektedir. Böylece görüntüde işlenecek veri boyutu azalmakta ve güvenilir ayrıştırma çıkarımı sağlanmaktadır [2].

Optik, kapasitif gibi sensörler ile temassız elde edilen parmak izi görüntülerinde segmentasyon işlemi, parmak izi hat çizgilerinin ortalama ve varyans gibi değerleri ile kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. Fakat bu segmentasyon yöntemleri, mobil cihaz ile elde edilen parmak izi görüntülerinde başarılı sonuç vermemektedir [24]. Literatürde bu problemi çözebilmek için deri renk piksellerinin yoğunluğuna göre parmak bölgesinin ayırt edilmesi gerekliliği üzerinde durulmuştur [11, 12]. Bu yöntem, temel olarak görüntüdeki her bir pikselin renk yoğunluk değerleri ile deri renk yoğunluk değerini karşılaştırarak parmak bölgesinin tespitini yapmaktadır. Görüntüde, parmak haricinde başka bir objenin olması ve bu objenin de deri renk yoğunluğuna yakın olması bu algoritmanın en büyük dezavantajıdır. Bu durum hem görüntü işleme sürecinin uzamasına hem de sahte ayrıştırma çıkarımına neden olmaktadır [22]. Bu nedenle, arka plan bölgesinin sabit olması gerektiği ön plana

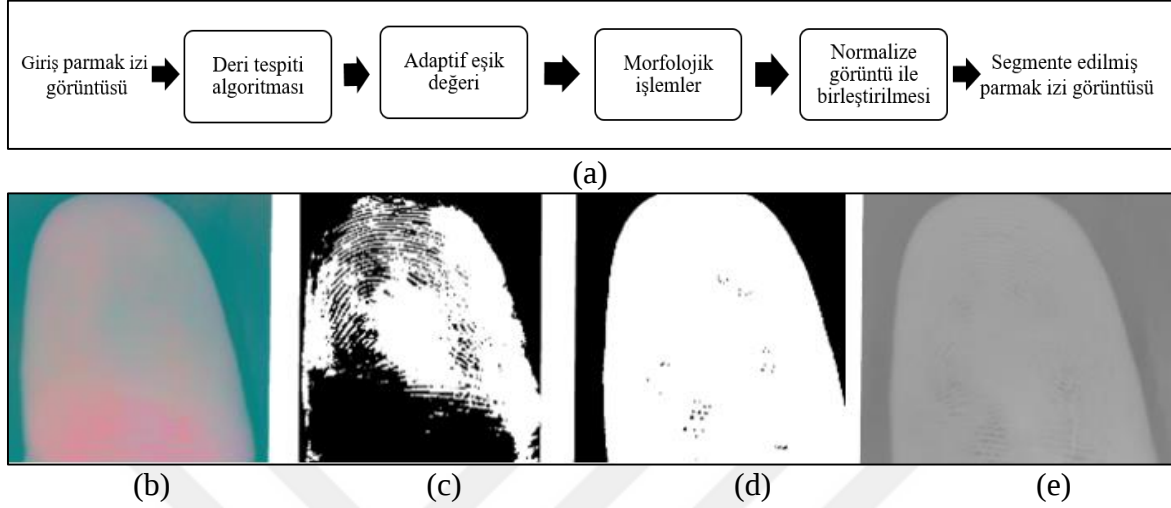
çıkılmaktadır. Tez kapsamında, arka plan bölgesi aşağıdaki unsur göz önünde bulundurularak sabitlenmiş ve siyah olarak belirlenmiştir.

Parmak izi görüntüsü çekilirken ortamda ışık kaynaklarının kullanılması, görüntünün aydınlanmasına ve piksellerin yoğunluk değerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda görüntüde arka plan bölgesinin parmak bölgesinden ayrıştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, arka plan için seçilen renk değerinin deri renk değerinden rahatlıkla ayırt edilebilmesi için en düşük piksel değerine sahip olması gerekmektedir. En düşük piksel yoğunluk değerine sahip olan renk ise siyahtır. Renkli görüntülerde RGB(0,0,0), gri seviyeli görüntülerde ise “0” ile ifade edilen bu değer, tez kapsamında arka plan rengi olarak belirlenmiş ve ortam sabitlenmiştir.

Siyah renk değerinin ışık etkisi ile yeni değeri, deri rengi değerinden düşük olması segmentasyon işleminin tek bir karşılaştırma parametresi (eşik değeri) ile yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durumda, görüntü analiz aşamasındaki işlem basamaklarını azalttığı sonucuna varılmaktadır. Tez kapsamında bu sonucu gösterebilmek için, mobil cihazlar ile elde edilen parmak izi görüntülerine uygulanan segmentasyon yaklaşımları irdelenmiş ve segmentasyon işleminin başarı ile gerçekleşebilmesi için Şekil 4.16 (a)’da işlem basamaklarının uygulandığı görülmüştür.

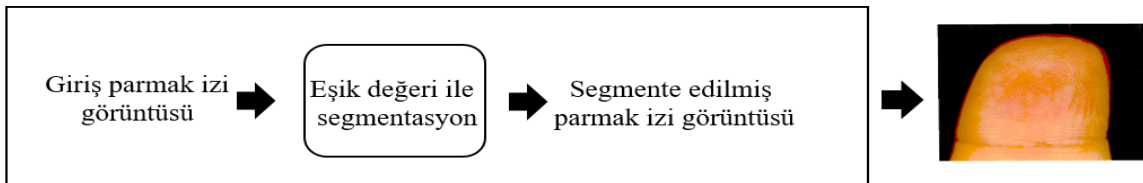
Tez kapsamında geliştirilen cihaz ile elde edilen bir parmak izi görüntüsüne Şekil 4.16 (a)’da ifade edilen segmentasyon aşaması uygulanmış ve bu işlem basamaklarının çıktılarına Şekil 4.16 (b)’de yer verilmiştir. Şekil 4.16 (a)’da, ifade edilen segmentasyon yaklaşımında, parmak izi görüntüsü RGB (Red, Green, Blue) renk uzayından YCbCr renk uzayına dönüştürülür. Daha sonra ise görüntüdeki gürültüyü azaltmak için alçak geçirgen filtreleme yaklaşımı uygulanır, Cb ve Cr’nin ortalama ve kovaryans değeri hesaplanır. Bu değerlere bağı olarak ise parmak bölgesi tespiti yapılmaktadır. Parmağı bulunduğu ortamdan ayırt edebilmek için adaptif eşik değeri ile görüntü ikileştirme yaklaşımı uygulanmaktadır. Fakat bu yaklaşımda, parmak bölgesinde hatalar mevcut olduğu için görüntü morfolojik işlemlere tabi tutularak hataların giderilmesi gerekmektedir. En son aşamanın çıktısında ikili bir parmak izi görüntüsüdür. Bu görüntünün de normalize edilmiş bir parmak izi görüntüsü ile birleştirilip nihai çıktının elde edilmesi gereklidir [11]. Görülmektedir ki, görüntü segmente edebilmek ve nihai parmak izi çıktısını elde edebilmek için parmak izi görüntüsünün birçok

işlem basamağına tabi tutulması gerekmektedir. Bu durumda görüntü işleme sürecinin uzamasına neden olmaktadır.



Şekil 4.16. Mobil parmak izi görüntülerine uygulanan segmentasyon yaklaşımı [11] ve çıktıları (a) Segmentasyon yöntemi aşamaları (b) Deri tespiti algoritması çıktısı (c) Adaptif eşik değeri çıktısı (d) Morfolojik işlem çıktısı (e) Normalize ile binarize görüntünün birleştirilmesi çıktısı

Tez kapsamında bu problemi çözebilmek için parmak izi görüntüsünün arka plan renginin sabit ve en düşük renk yoğunluk değerine sahip siyah olarak belirlenmiştir. Bu durumda da parmak izi görüntüsü tek bir karşılaştırma parametresi ile bulunduğu ortamdan ayrıştırılmıştır (Şekil 4.17). Bu yaklaşım, Bölüm 4.4.1’de detaylı açıklanmaktadır.



Şekil 4.17. Tez kapsamında uygulanan segmentasyon yöntemi aşaması ve çıktısı

Mobil parmak izi tanıma sistemlerinde karşılaşılan önemli problemlerden biri, parmağı çekilen kişinin parmağını ani hareket ettirmesidir. Bu durum, görüntüde bulanıklığa yol açarak tanıma sistemi performansını etkilemektedir. Bir diğer problem ise, parmağın dönmesi sonucu ayrıntı noktalarının yok olmasıdır. Tez kapsamında bu problemleri ortadan kaldırabilmek için tasarlanan prototip, parmak giriş alanı Şekil 4.11 (a)’da verilen ölçüler doğrultusunda sabitlenmüş ve parmağın hareketi kısıtlanmıştır.

#### 4.4. Görüntü Analiz Aşaması Tasarımı

Görüntü analiz, parmak izi görüntülerine iyileştirme basamaklarının uygulandığı aşamadır. Bu aşamada görüntü; segmentasyon, normalizasyon, filtreleme, görüntü ikileştirme ve görüntü inceltme yöntemlerine tabi tutulmaktadır [2]. Bu yöntemlerin başarısı, birbirlerine bağlı olduğu kadar veri edinim aşamasına da bağlıdır. Dolayısıyla görüntü iyileştirmenin yüksek başarı ile gerçekleşebilmesi için parmak izi bulunduğu ortamdan en iyi şartlarda elde edilmelidir. Aksi takdirde, görüntü iyileştirme için çok fazla işlem basamağına gereksinim duyulmaktadır. Örneğin, normalizasyon aşamasında görüntüdeki tuz biber gürültüsünü gidermek için Medyan filtre, bulanıklığı gidermek için Wiener filtre, görüntüdeki parmak haricindeki objeleri görüntü analiz sürecine dâhil etmemek için deri rengi tespiti algortiması uygulanmaktadır. Bu durum da görüntü işleme sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Tez kapsamında bu unsurlar göz önünde bulundurulmuş ve kaliteli parmak izi görüntüsü elde etmek için ortam şartları standardize edilmiştir. Bu doğrultuda iyileştirme aşaması tasarımı görüntü segmentasyon, normalizasyon ve filtreleme işlemlerine tabi tutulmaktadır.

##### 4.4.1. Segmentasyon aşaması tasarımı

Tez kapsamında, mobil cihazlar ile elde edilen parmak izi görüntüleri için yaygın kullanılan segmentasyon (Bölüm 4.3.4’de değinilmiştir) aşamasındaki işlem basamaklarını azaltabilmek için veri edinim aşamasında parmak izinin arka plan bölgesi sabitlenmiş ve siyah renk olarak belirlenmiştir. Bu sayede, mobil parmak izi görüntüsündeki obje sayısı azaltılarak görüntü çıkarım süreci kolaylaştırılmış ve segmentasyonun tek bir aşamada gerçekleşmesi sağlanmıştır. Tez kapsamında uygulanan segmentasyon aşaması için göz önünde bulundurulmuş temel unsurlar aşağıdaki gibidir.

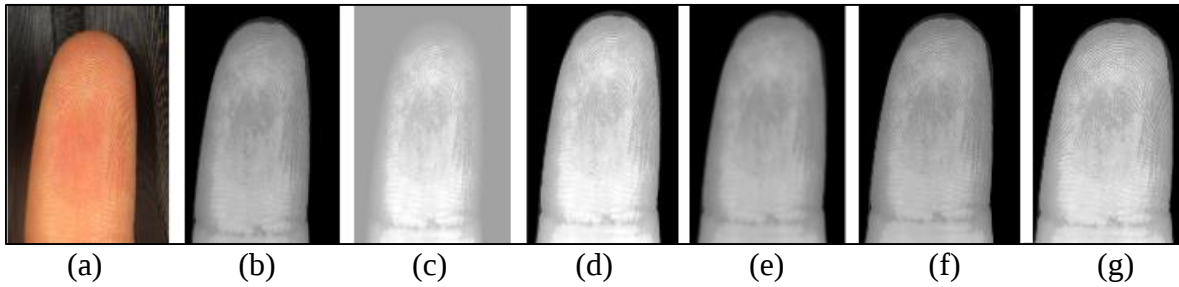
- Görüntüde arka plan bölgesi siyah olmasına rağmen ortamdaki ışık etkisi ile siyah alanlardaki renk yoğunluk değeri artmaktadır. Fakat tez kapsamında veri edinim aşaması standartlaştığı için siyah bölgenin ışık etkisine bağlı olarak yeni yoğunluk değerleri belirli bir eşik değerinin altında ve sabittir. Bu değer, deri rengi piksel yoğunluğundan düşüktür.
- Tez kapsamında bu eşik değerini ( $T$ ) belirlemek için deri rengi için tanımlanan piksel aralık değeri baz alınarak 100 olarak belirlenmiştir. Görüntüde, bu aralığın dışında olan

bölge arka plan olarak tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, gerçekleştirilen segmentasyon adımı aşağıdaki gibidir.

*Başla*  
 Görüntüdeki piksel yoğunluk değeri  $g(x,y)$ ,  
 belirlenir.  
 Eğer  $g(x,y) < T$  ise  
      $g(x,y)$ , arka plan bölgesinde;  
 Değilse  
      $g(x,y)$ , parmak bölgesinde  
*Bitir*

#### 4.4.2. Normalizasyon aşaması tasarımı

Parmak izi görüntülerinde, veri edinim aşamasında oluşabilecek bir takım problemler (gürültü, lineer olmayan bozukluklar, bulanıklık vb.) normalizasyon aşamasında giderilmektedir [2, 11-13, 23, 24]. Bu aşamada, parmak izindeki hat çizgilerinin yapısı bozulmadan görüntüdeki piksel değerleri değişimi yapılarak görüntü iyileştirilmektedir. Bu amaçla uygulanan normalizasyon yöntemleri; medyan filtre, histogram eşitleme, kontrast germe, Gauss filtre, Wiener filtre ve Hong-normalizasyondur. Bu yöntemlerin her birinin kullanım amacı farklıdır (Bölüm 3.3.2’de detaylı açıklanmıştır). Örneğin mobil parmak izi görüntülerinin kontrastı, optik kapasitif sensörler ile elde edilen parmak izi görüntülerine göre daha düşük olduğundan kontrastı arttırmak amacıyla histogram eşitleme ya da kontrast germe uygulanırken, görüntüdeki bulanıklığı gidermek için wiener filtre uygulanmaktadır. Tez kapsamında, geliştirilen prototip yardımıyla elde edilen parmak izi görüntülerine bu normalizasyon yaklaşımları uygulanmış ve Şekil 4.18’de bu aşamaların çıktılarına yer verilmiştir.



Şekil 4.18. Mobil parmak izi görüntüsüne normalizasyon yöntemlerinin uygulanması  
 (a) Giriş parmak izi görüntüsü (b) Medyan filtreleme (c) Histogram eşitleme  
 (d) Kontrast germe (e) Gauss filtreleme (f) Wiener filtreleme (g) Hong-  
 Normalizasyon yönteminin uygulanması

Literatürde, normalizasyon aşaması yukarıdaki yöntemlerin farklı kombinasyonları şeklinde uygulanmış ve yüksek başarı edildiği görülmüştür [11-13, 24 71-73]. Bu yöntemlerden histogram eşitleme, düşük kontrastlı görüntülerin keskinliğini arttırmada başarılı sonuç verdiği için mobil parmak izi görüntüleri için en çok tercih edilen yaklaşımlardan biridir [73]. Histogram eşitleme yöntemi, görüntünün genel kontrastını temel alarak iyileştirme yapmaktadır. Fakat bu durum özellikle detay görüntülerde bazı noktaların çıkarımını zorlaştırmaktadır. Literatürde, bu problemi çözebilmek amacıyla Pizer [95], CLAHE olarak adlandırılan bir yöntem geliştirmiştir. Temel olarak histogram eşitleme yaklaşımı olan bu yöntem, görüntüdeki gürültüleri blok bazında iyileştirmektedir [96]. Bu yöntem, gri seviyeli bir görüntü üzerinde uygulandığı için öncelikli olarak RGB formatındaki görüntü, gri seviyeye dönüştürülmektedir. Daha sonra ise blok bazında ayrıştırılan bölgelere histogram eşitleme uygulanır. Bloklara, histogram eşitleme uygulanması sonucunda görüntüdeki gürültü oranı artmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırabilmek için kontrast sınırlaması yapılmaktadır [95, 96]. Aşağıda, bu yöntemin aşamalarına yer verilmiştir.

1. Adım: Orijinal görüntü, birbirleri ile çakışmayacak şekilde  $M \times N$  boyutunda bloklara ayrıştırılır.
2. Adım: Her bir bloğun histogram değerleri hesaplanır.
3. Adım: Hesaplanan histogram değerleri kırpılır.

Bu aşamada bloklardaki piksel değerleri, gri değere karşı gelecek şekilde dağıtılır ve her biri gri değere eşitlenmiş piksellerin ortalama değeri Eş. (4.2) ile hesaplanmaktadır [96].

$$N_{aver} = \frac{N_{CR-xp} \times N_{CR-yp}}{N_{gray}} \quad (4.2)$$

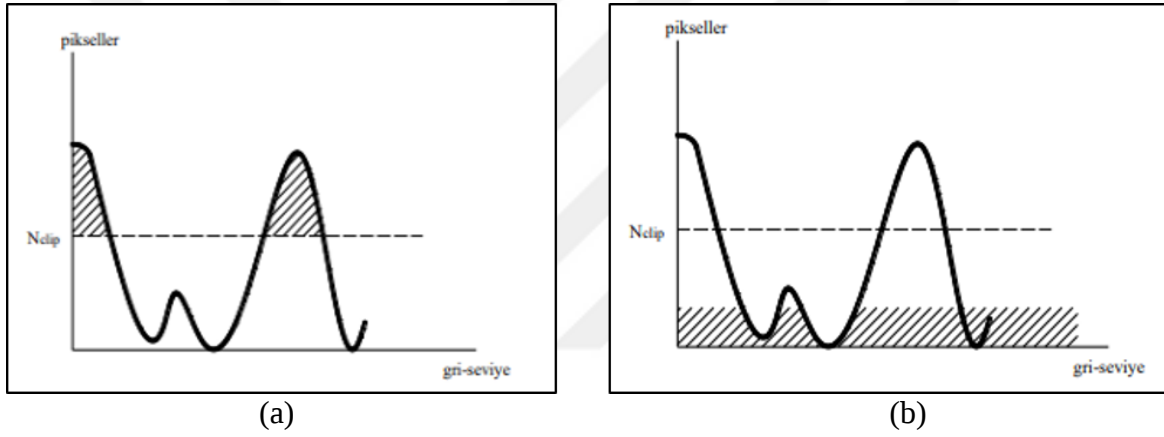
Yukarıda ifade edilen eşitlikte;  $N_{aver}$  piksellerin sayısının ortalaması,  $N_{gray}$  bloktaki gri seviyelerin sayısı,  $N_{CR-xp}$  bloktaki x eksenindeki piksellerin sayısı,  $N_{CR-yp}$  çalışma bölgesinin y eksenindeki piksellerin sayısıdır. Eş. 4.2'deki ifadeler ile  $N_{CL}$  Eş. 4.3'deki gibi hesaplanabilmektedir.

$$N_{CL} = N_{clip} \times N_{aver} \quad (4.3)$$

Burada,  $N_{CL}$  kırma sınırı,  $N_{clip}$  bloktaki her bir gri seviyedeki ortalama piksellerin maksimumudur. Bu hesaplamalar sonucunda, orijinal ve kırılmış histogram sonuçları Şekil 4.19’da sunulmuştur.

Şekil 4.19’da görüldüğü üzere, piksellerin sayısı  $N_{clip}$ ’den büyük ise pikseller kırılmaktadır. Kırılmış piksellerin toplam sayısına ( $N_{\Sigma clip}$ ) bağlı olarak da, her bir gri seviyeye dağıtılmış piksellerin sayısı da Eş. 4.4. ile hesaplanmaktadır.

$$N_{acp} = \frac{N_{\Sigma clip}}{N_{gray}} \quad (4.4)$$



Şekil 4.19. CLAHE yönteminde görüntünün histogram bilgisinin kırılması [96] (a) Orijinal histogram (b) Kırılmış histogram

Eş. 4.3 temel alınarak, görüntünün sınırlandırılmış histogram kontrast değeri aşağıdaki algoritma ile hesaplanmaktadır. Aşağıdaki algoritmada,  $H_{CR}(i)$ , bloktaki her bir gri seviyedeki piksellerin sayısını  $i$  ise gri seviyenin sayısını ifade etmektedir.

```

Başla
Eğer  $H_{CR}(i) > N_{CL}$ 
     $H_{NCR}(i) = N_{CL}$ 
Değilse  $H_{CR}(i) + N_{acp} > N_{CL}$ 
     $H_{NCR}(i) = N_{CL}$ 
Değilse
     $H_{NCR}(i) = H_{CR}(i) + N_{acp}$ 
Bitir

```

Görüntüye yukarıdaki algoritma uygulandıktan sonra, kırılmış piksellerin sayısı  $N_{LP}$  olarak ifade edilmektedir. Buna göre dağıtılmış piksellerin adımı Eş. (4.5) ile hesaplanır.

$$S = \frac{N_{\text{gray}}}{N_{LP}} \quad (4.5)$$

Algoritma, gri seviyenin minimum değerinden maksimum değerini aramaya başlar. Eğer gri seviyedeki piksellerin sayısı  $N_{CL}$  az ise, her bir piksel değeri gri seviyeye dağıtılmaktadır. Bu işlem sonucunda piksellerin tamamı dağıtılmamışsa, Eş. (4.4) ile yeni adım hesaplanmaktadır. Buna bağlı olarak elde edilen yeni histogram bilgisi Şekil 4.19 (b)'de gösterilmiştir.

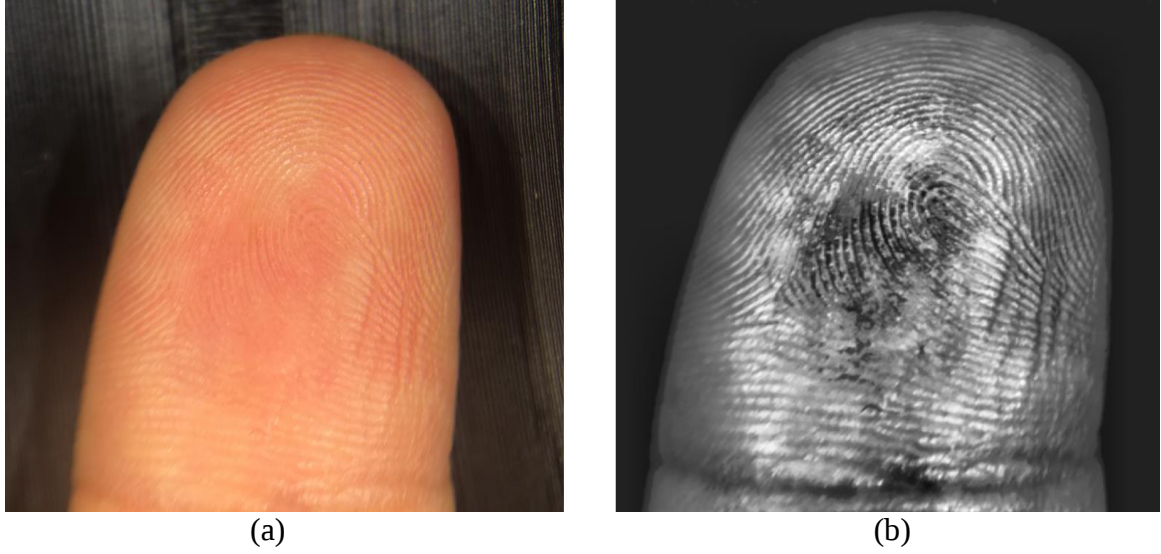
4. Adım: Blokların her birindeki gri seviye histogramı, histogram eşitleme işlemine tabi tutulur.
5. Adım: Blokların merkezindeki noktalar ise örnekleme noktası olarak ifade edilmektedir.
6. Adım: Herhangi bir pikselin değeri, etrafındaki 4 örnek çerçevedeki pikselin değeri ile uyumlu hale getirmek için Eş. 4.6'daki ifade ile edilen eğri uydurma yaklaşımı uygulanmaktadır.

$$m(i) = a[bm_{--}(i) + (1 - b)m_{+-}] + [1 - a][bm_{-+} + (1 - b)m_{++}(i)] \quad (4.6)$$

Burada,  $m(x, y)$  koordinat noktasındaki herhangi bir pikseli,  $i$  yoğunluk değerini,  $m_{+-}$ ,  $m_{++}$ ,  $m_{-+}$ ,  $m_{--}$  ifadeleri sırasıyla üst-sağ piksel, alt-sağ piksel, alt-sol piksel ve üst-sol pikseli ifade etmektedir. Eşitlikteki  $a$  ve  $b$  ise aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$a = \frac{y - y_-}{y_+ - y_-}, \quad b = \frac{x - x_-}{x_+ - x_-} \quad (4.7)$$

Tez kapsamında, normalizasyon aşaması bu yöntem ile gerçekleştirilmiş ve bu yöntemin çıktısına Şekil 4.20'de yer verilmiştir. Görülmektedir ki, mobil parmak izi görüntüsü CLAHE yöntemi uygulandığında hat çizgileri belirginliği, diğer normalizasyon yönteminin uygulanma çıktılarına (Şekil 4.18) göre daha yüksektir.



Şekil 4.20. Mobil parmak izi görüntüsüne CLAHE yönteminin uygulanması a) Orijinal görüntü b) CLAHE yöntemi uygulanmış görüntü

#### 4.4.3. Filtreleme aşaması tasarımı

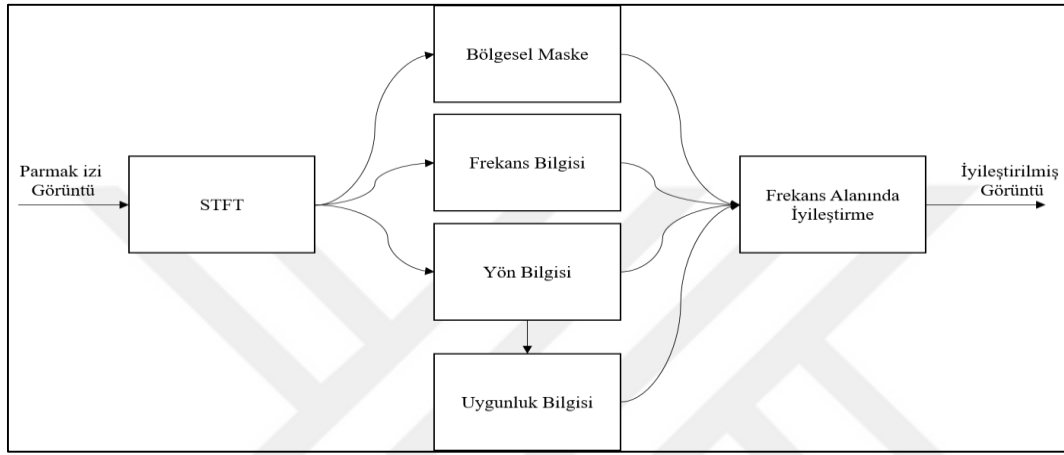
Filtreleme, görüntü analiz sürecindeki en önemli aşamadır. Bu aşamada ilk olarak görüntüden yön ve frekans bilgisi çıkarımı gerçekleştirilir. Daha sonra, bu bilgilere bağlı olarak filtreleme işlemi uygulanmaktadır. Filtreleme işlemleri genel olarak uzaysal ya da frekans olmak üzere iki farklı alanda uygulanabilmektedir. Frekans alanındaki işlemler hesaplama karmaşıklığı açısından, uzaysal alana göre daha avantajlı olması bakımından parmak izi görüntüleri bu alana dönüştürülerek iyileştirilmektedir [36, 42- 48, 75].

Parmak izindeki, yön ve frekans bilgisi çıkarımı filtrelemenin başarısını etkilemektedir. Bu bilgilerin daha güvenilir elde edilebilmesi adına görüntünün frekans alanına dönüşümü için kullanılan yöntem oldukça önemlidir. Tez kapsamında, bu dönüşüm yöntemleri kritik edilmiş ve (Bölüm 2.2.2’de detaylı anlatılmıştır.) Chikkerur ve arkadaşları tarafından önerilen yaklaşımın [48] mobil parmak izi görüntüleri (Çizelge 4.1) iyileştirmede yüksek sonuç verdiği görülmüştür. Bu yöntemin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibidir.

- STFT ile frekans alanına dönüşümde, görüntünün tamamının analiz edildiği için güvenilir yön ve frekans bilgisi çıkarımı garanti edilmektedir. Böylece, filtreleme işleminin başarısı da artmaktadır.

- Parmak izi görüntülerinde, frekans bilgisi çıkarımı genellikle yön bilgisine bağlı olarak yapılmaktadır. Bu durum algoritmanın performansını etkilemektedir. Bu yöntem ile yön ve frekans bilgisi çıkarımı eş zamanlı olarak yapılabilmektedir.

Şekil 4.21’de, STFT ile filtreleme aşamasına yer verilmiş olup bu aşamalar aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 4.21. STFT ile filtreleme aşaması [48]

Bu yaklaşım temel olarak, frekans alanına dönüşüm, görüntüden bilgi çıkarımı ve iyileştirme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, parmak izi görüntüsü Frekans alanına dönüştürebilmek için Eş. (4.8) ifade ile STFT uygulanır [48].

$$X(\tau_1, \tau_2, w_1, w_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) W(x - \tau_1, y - \tau_2) * e^{-j(w_1 x + w_2 y)} dx dy \quad (4.8)$$

Bu ifadede, W analiz edilecek görüntüyü,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  uzaysal koordinat noktalarını  $w_1$ ,  $w_2$ ’de frekans değerlerini  $I(x, y)$  piksel yoğunluğunu ifade etmektedir.

Görüntüden bilgi çıkarım aşamasında ise görüntü birbiriyle örtüşmeyen pencerelere (B) ayrıştırılır. Her bir bölgede, Fourier Spekturumu hesaplandıktan sonra olasılıksal yaklaşımla yön ve frekans bilgisi analiz edilmektedir. Yön bilgisi kullanılarak açısallık uygunluk görüntüsü, arka plan bölgesini ayırt etmek için bölgesel maske hesaplanmaktadır. İyileştirmede ise ilk aşamada elde edilen bilgilere göre Angular ve Radyal Filtreleme ile uygulanmaktadır [48]. Aşağıda bu işlem basamakları açıklanmıştır.

### STFT Analiz

1. Adım: Görüntüdeki her bir blok  $B(x,y)$  için;

- $B=B-\text{ort}(B)$ , DC bileşenleri silinir.
- $W$  Spektral pencereler ile çarpılır.
- Bloklara FFT (Fast Fourier Transform) uygulanır,  $F=\text{FFT}(B)$ .
- Görüntüye Kök Filtreleme (Root Filtre) uygulanır.
- STFT ile görüntü analiz edildikten sonra enerji görüntüsü, yön bilgisi, frekans bilgisi hesaplanır.

2. Adım: Yön bilgisindeki, gürültüden arındırılması için filtreleme işlemi gerçekleştir.

3. Adım: Frekans değerlerine İotropik Difüzyon uygulanır.

4. Adım: Yön bilgisinden faydalanılarak uygunluk görüntüsü elde edilir.

5. Adım: Enerji görüntüsü kullanılarak bölgesel maske hesaplanır.

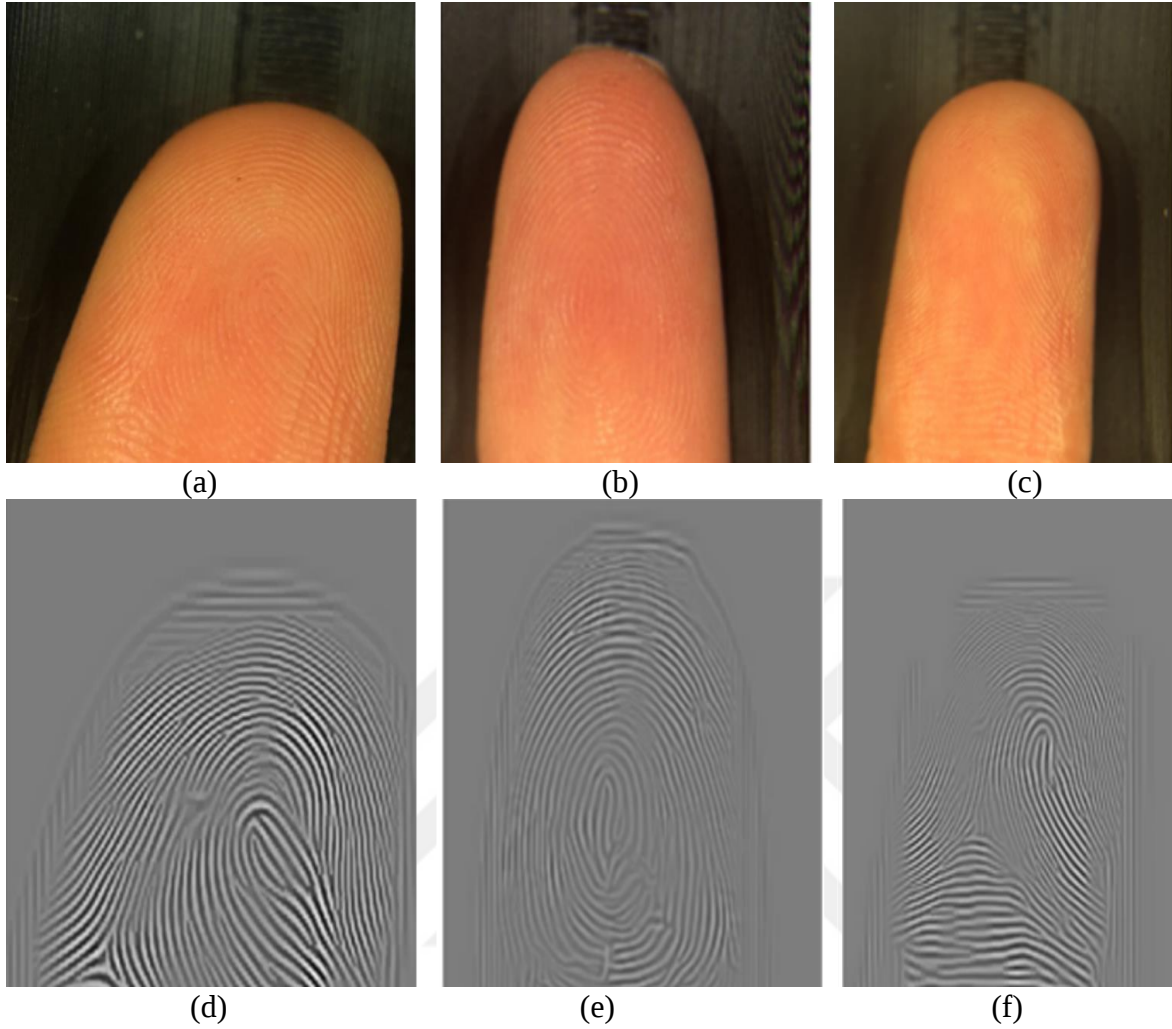
### Görüntü İyileştirmesi

1. Adım: Her bir  $B$  bloğu için;

- Bant genişliği  $C(x,y)$  (uygunluk değeri) ters orantılı olmasına göre ve yön bilgisine göre Angular Filtreleme uygulanır.
- Frekans bilgisine göre Radyal Filtreleme uygulanır.
- Frekans alanında her bir blok için filtreleme işlemi gerçekleştirilir.
- Ters Fourier Dönüşümü uygulanarak iyileştirilmiş blok görüntüsü elde edilir.

2. Adım: Blokların tamamı birleştirilerek iyileştirilmiş görüntü oluşturulur.

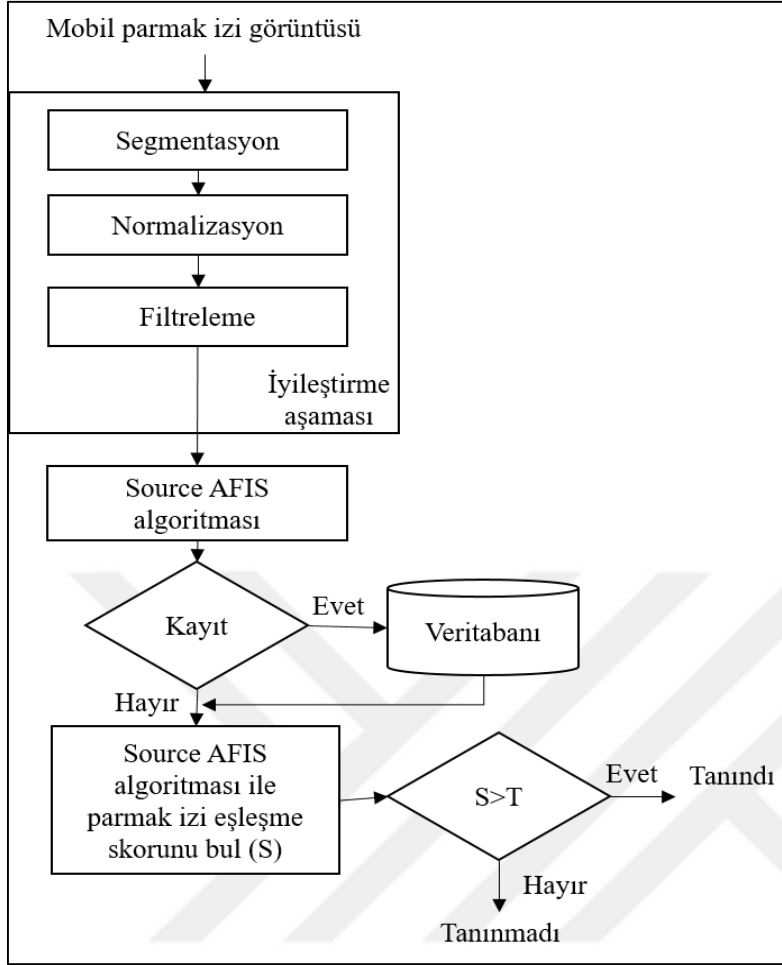
Tez kapsamında filtreleme yaklaşımı bu yöntem ile gerçekleştirilmiş ve bu yöntemin çıktıları Şekil 4.22.'de sunulmuştur.



Şekil 4.22. Mobil parmak izi görüntülerine STFT ile filtrelemenin uygulanması (a) Orijinal parmak izi görüntü-1 (b) Orijinal parmak izi görüntü-2 (c) Orijinal parmak izi görüntü-3 (d) Görüntü-1 filtreleme çıktısı (e) Görüntü-2 filtreleme çıktısı (f) Görüntü-3 filtreleme çıktısı

#### 4.5. Mobil Parmak İzi Tanıma Sistemi Tasarımı Uygulaması

Tez kapsamında, iyileştirme aşaması tasarımı gerçekleştirildikten sonra özellik çıkarımı ve çıkarılan özellikleri eşleştirebilmek adına mobil parmak izi tanıma sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan tanıma sistemi, Net Framework yapısı üzerinde gerçekleştirilmiş olup, görüntülerin iyileştirilmesi için Matlab R2015b uygulaması, özellik çıkarımı ve eşleştirme için Source AFIS algoritması, veritabanı işlemleri için MYSQL, programın yazılımı için C# programlama dili kullanılmıştır. Tüm bu bileşenler Visual Studio 2015 ve Matlab R2015b arayüzü kullanılarak bir araya getirilmiştir. Şekil 4.23’de tasarlanan bu sistemin akış diyagramına yer verilmiş olup bu aşamalar alt başlıklarda bu aşamalar detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 4.23. Mobil parmak izi tanıma sistemi akış diyagramı

#### 4.5.1. İyileştirme aşamasının oluşturulması

Tez kapsamında mobil cihaz ile elde edilen parmak izi görüntülerini iyileştirmek için Bölüm 4.4’de ifade edilen segmentasyon, normalizasyon ve filtreleme yaklaşımları uygulanmıştır. Bu iyileştirme basamaklarının .NET Net Framework yapısı üzerinde uygulayabilmek için Matlab R2015b uygulanan iyileştirme fonksiyonları kütüphaneye dönüştürülmüştür. Bunun için; Matlab arayüzünden “deploytool” komutu ile yeni bir proje oluşturma ekranı açılmıştır. Burada, iyileştirme aşamalarında kullanılan fonksiyonlar seçilerek yeni bir “MPTS.prj” uzantılı proje oluşturulmuştur. Uygulamanın .Net kütüphanesi olarak projede kullanılması için proje “NET Assembly” olarak seçilmiştir.

#### 4.5.2. Source AFIS algoritmasının uygulanması

Source AFIS uygulaması, .Net Framework yapısı üzerinde API (Application Programming Interface) ile programa kolaylıkla adapte edilebilmesi ve kullanımı kolay olması bakımından çoğu parmak izi tanıma sistemlerinde oldukça fazla tercih edilmektedir [13, 73, 97]. Tez kapsamında, iyileştirilen görüntüden özellik çıkarımı ve eşleştirme işlemleri açık kaynak kodlu Source AFIS algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma ile özellik çıkarımının uygulanması için görüntü temel iyileştirme basamaklarına (Bölüm 3.3’de detaylı açıklanmıştır.) tabi tutulması gereklidir. Bu iyileştirme basamaklarından inceltme aşamasından sonra görüntü üzerindeki sahte ayrıntı oluşmasına neden olan birçok unsur bulunmaktadır. Bunların giderilmesi için algoritma kapsamında parmak izi görüntülerine sırasıyla; noktaların silinmesi, gözenek ve boşlukların doldurulması, tepe çizgilerindeki çıkıntıların ve kısa tepe çizgilerinin silinmesi işlemleri uygulanmaktadır. Daha sonra, parmak izi sınırları dışında olan ayrıntı noktaları ayırt edilmesi için iç ayrıntı (Inner minutiae) noktaları tespiti yapılarak doğru özellik noktaları elde edilmektedir [101].

Tez kapsamında, SourceAFIS algoritmasının kullanılabilmesi için Visual Studio 2015 platformunda oluşturulan MPTS (Mobil Parmak izi Tanıma Sistemi) projesinde “*Add references*” seçeneği ile *SourceAFIS.dll* eklenmiştir. Projede, bu kütüphanedeki fonksiyonlar .Net Framework yapısı üzerinde aşağıdaki kodlar ile uygulanmış ve parmak izi görüntüsünden özellik çıkarım aşaması gerçekleştirilmiştir.

```
using SourceAFIS.Simple;
namespace MPTS
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        AfisEngine Afis = new AfisEngine();
        OpenFileDialog open = new OpenFileDialog();
        Fingerprint fp = new Fingerprint();
        ----
        fp.AsBitmap = new Bitmap(Bitmap.FromFile(open.FileName));
        Person person = new Person(fp);
        person.Fingerprints.Add(fp);
        Afis.Extract(person); ----}
}
```

#### 4.5.3. Veritabanına özelliklerin kaydedilmesi ve tanınmanın gerçekleştirilmesi

Tez kapsamında, Source AFIS ile çıkarılan parmak izi özellikleri MYSQL veritabanında tutulmaktadır. MYSQL veritabanını .Net Framework yapısı üzerinde kullanabilmek için

MPTS projesinde “Add referances” seçeneği ile *Mysql.dll* eklenmiş ve aşağıda yer verilen kodlar ile veritabanı bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

```
using MySql.Data;
using MySql.Data.MySqlClient;
namespace MPTS
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        MySqlConnection conn = new MySqlConnection("Server=localhost;
        uid=root; database=parmak izi;      pwd=mehtap1234");
        public Form1()
        {
            ----
            string komut = "select p_id,p_bilgi from parmak izi_kayit";
            MySqlCommand mycom = new MySqlCommand(komut, conn);
            MySqlDataAdapter adap = new MySqlDataAdapter(komut, conn);
            conn.Open();
            ----}
    }
}
```

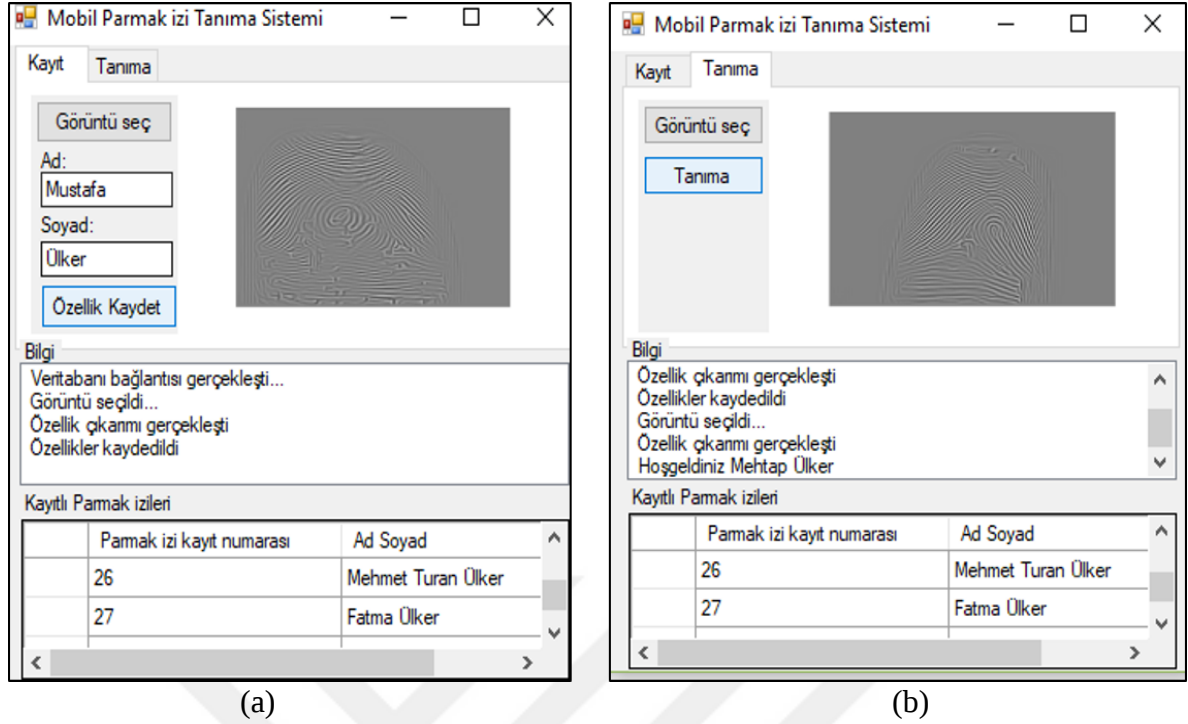
Parmak izi veritabanında, kişiye dair üç temel özellik tutulmaktadır. Bunlar kişinin kayıt numarası, adı ve soyadı ve parmak izinden çıkarılan özelliklerdir. Kayıt numarası, kişiye özgü olup bir tanımlayıcı olarak belirlenmiş ve program ile rastgele bir değer ataması yapılmıştır. Özellik ise Source AFIS yardımı ile çıkarılan parmak izine ait ISO/IEC 19794-2 standardındaki ayrıntı noktalarını içermektedir.

Tez kapsamında tanıma sürecinin gerçekleştirilmesi için de Source AFIS algoritması uygulanmıştır. Bunun için ilk olarak karşılaştırılacak parmak izin iyileştirme aşamasına tabi tutulduktan sonra Source AFIS algoritması ile özellik çıkarımı yapılmaktadır. Bu izin veritabanında kayıtlı olan tüm parmak izleri ile karşılaştırılması için kayıtlı izlere dair bilgiler veritabanından çekilmektedir. Daha sonra ise tanıma aşamasına tabi tutulan izin özellik noktaları ile veritabanından çekilen her bir izin özellik noktalarına göre eşleşmeside Source AFIS algoritması ile gerçekleştirilir. Hesaplanan eşleşme skoru (S), tanıma sistemin eşik değerinden (T) büyük ise kişi sistem tarafından tanınır, küçük ise tanınmaz. Tez kapsamında, yukarıda ifade edilen aşamalar gerçekleştirildikten sonra tasarlanan mobil parmak izi tanıma sistemi arayüzü Şekil 4.24’deki gibidir.

| Parmak izi kayıt numarası | Ad Soyad           |
|---------------------------|--------------------|
| 25                        | Nazife Ülker       |
| 26                        | Mehmet Turan Ülker |

Şekil 4.24. Mobil parmak izi tanıma sistemi arayüzü

Tasarlanan bu sistemde “Kayıt” seçeneğinde, “Görüntü seç” butonu ile mobil parmak izi görüntüsü seçimi yapılır, görüntü iyileştirilerek görüntüden özellik çıkarımı gerçekleştirilir. “Özellik Kaydet” butonu ile çıkarılan özellikler kişinin adı, soyadı ve tanımlayıcısı ile birlikte veritabanına kaydedilmektedir. Bu işlemlerin bilgilendirilmesi de kullanıcıya sunulmaktadır. Tasarlanan arayüzde, “Tanıma” seçeneği ile kayıt aşamasında olduğu gibi kullanıcıdan görüntü seçimi yapılması beklenir. Görüntünün seçilmesi ile görüntüden özellik çıkarımı yapılır. Bu görüntüden çıkarılan özellikler “tanıma” butonu ile veritabanındaki tüm veriler ile karşılaştırılması yapılmaktadır. Karşılaştırma sonucu, kişi veritabanında kayıtlı olup olmama durumu bilgi ekranında kullanıcıya sunulmaktadır. Bu arayüzde, veritabanındaki tüm kullanıcılar kullanıcıya gösterilmektedir. Şekil 4.25’de sisteme yeni giriş yapan kişinin veritabanına kaydedilmesine ve tanıma işleminde ise seçilen görüntünün veritabanında tüm kayıtlı verilerin eşleştirilmesi çıktısına yer verilmektedir.



Şekil 4.25. Mobil parmak izi tanıma sistemi kayıt ve tanıma aşaması (a) Kayıt aşaması çıktısı (b) Tanıma aşaması çıktısı

#### 4.6. Mobil Parmak izi Tanıma Sistemi Performansının Değerlendirilmesi

Tez kapsamında tasarlanan mobil parmak izi tanıma sisteminin performansı, dört farklı yaklaşım ile değerlendirilmiştir. Bunlar;

- Değerlendirme-1: Tez kapsamında mobil cihaz ile toplanan parmak izi görüntülerinin eşleştirilmesi,
- Değerlendirme-2: Tez kapsamında optik sensör ile toplanan parmak izi görüntülerinin soureşleştirilmesi,
- Değerlendirme-3: FVC 2004 veri setindeki parmak izi görüntülerinin eşleştirilmesi,
- Değerlendirme-4: Tez kapsamında hem mobil cihaz hem de optik sensör ile toplanan görüntülerin birbirleriyle eşleştirilmesidir.

Bu değerlendirme aşamalarının her birinde, tanıma sistemleri performansını değerlendirmek için yaygın kullanılan FAR ve FRR değerleri hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 4.1’de yer verilen literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalar yapılmadan önce, Source AFIS eşleştirmede kullanılan eşik değeri ve buna bağlı olarak eşleştirme hataları hakkında bilgi vermek gerekirse;

- Tanıma sistemi eşleştirme sonucunu, eşik değerine bağlı olarak belirlemektedir. Eşleştirme sonucu bu değerden düşük ise parmak izlerinin birbirleriyle uyuşmadığı; yüksek ise parmak izlerin aynı olduğu kararı verilmektedir.
- Source AFIS algoritması eşik değeri  $-10 \times \log_{10}$  (FAR) ile normalize edilmektedir. Yani eşleşme skoru 10 ise FAR hata oranı 1:10, 20 ise FAR hata oranı 1:100 oranında hata vermektedir [97]. Bu durum eşik değeri düşük seçilse dahi sistemde yanlış kişiyi kabul etme oranının oldukça düşük olduğunu göstermektedir.
- FRR, yani yanlış reddetme oranı ise eşik değerine bağlı olarak artmaktadır. Eşik değeri arttıkça aynı kişiye ait parmak izlerinin sistem tarafından reddedilme oranının da artması beklenmektedir [97].

Yukarıdaki bilgiler ışığında, tasarlanan parmak izi tanıma sistemi performansının değerlendirilmesinde ilk olarak tez kapsamında toplanan parmak izi görüntüleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu parmak izi iki farklı alım yöntemi ile toplanmıştır. Bunlardan ilki geliştirilen prototip yardımı ile mobil cihazla parmak izinin toplanmasıdır. Bir diğeri ise temaslı olarak ifade edilen optik sensör ile verilerin toplanmasıdır. Buna göre toplanan veri toplama süreci ve veri setlerinin özellikleri aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

- Parmak izi görüntüleri toplanırken kullanılan mobil cihaz “iPhone 6s”, optik sensör ise “Papillon DS-21s”dir.
- Kişinin her iki alım yöntemi ile aynı parmağından görüntüler alınmıştır. Buna göre izi alınan parmaklar literatürdeki çalışmalar doğrultusunda [11, 12, 23]; sağ işaret parmağı ve sol işaret parmağı belirlenmiştir.
- Bir kişiden alınan parmak izi sayısı mobil cihazla 4, optik sensör ile 4 olmak üzere toplamda 8 adettir.
- Her iki veri setinde kişi sayısı 26 olup veri seti bazında 104 adet parmak izi görüntüsü ile çalışılmıştır.
- Toplanan parmak izi görüntülerinde, parmağın ıslak-kuru olmasına, parmak ve ya sensör temizliğine dikkat edilmemiştir. Aynı zamanda, parmak izi alınan kişiler genellikle inşaat mühendisliği alanında olup laboratuvarında çalıştıkları için kimyasal maddeler, asfalt gibi unsurlar yüzünden parmak izinde bozulmalar söz konusudur.

Değerlendirme-1’de tez kapsamında mobil cihaz ile toplanan parmak izi görüntüleri; Değerlendirme-2’de tez kapsamında optik sensör ile toplanan parmak izi görüntüleri; Değerlendirme-3’de FVC 2004 veri setindeki parmak izleri kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Değerlendirme-4’de ise tez kapsamında hem mobil cihaz hem de optik sensör ile toplanan parmak izi görüntülerinin birbirleriyle eşleştirme sonuçları değerlendirilmiştir. Her bir değerlendirme aşaması için görüntüler sırasıyla; iyileştirme, özellik çıkarım aşamalarına tabii tutulup farklı veritabanına kaydedilmektedir. Veritabanındaki kayıtlı verilerin birbirleri ile karşılaştırılmasına göre FAR ve FRR değerleri yani kişinin sistemde doğru kabul ya da yanlış kabul oranına göre hesaplanmaktadır. FAR ve FRR değerleri, herhangi iki parmak izi karşılaştırması sonucunun sistem tarafından kabul ya da reddedilmesine bağlı olarak doğru kabul (TA-True Accepted), yanlış kabul (FA-False Accepted), yanlış red (FR- False Rejected) ve doğru red (TR- True Rejected) sayılarının hesaplanması ile bulunmaktadır (Çizelge 4.3) [98]. Bu değerlerin hesaplanmasında sistemin eşik değeri belirleyici unsurdur. Bu eşik değerine göre herhangi iki parmak izinin aynı kişiye ya da farklı kişiye ait olduğu kararına varılmaktadır. Tez kapsamında, sistem eşik değeri seçimi için literatürdeki çalışmalar temel alınmıştır. İrdelenen literatür çalışmalarında Souce AFIS, MegaMatcher SDK gibi açık kaynak kodlu ticari yazılımlar tarafından tanımlanan eşik değeri temel alınarak farklı eşik değerleri altında eşleştirme yapılmıştır [22, 62, 71-73, 99]. Tez kapsamında, MegaMatcher SDK ticari yazılımın “48” olarak tanımlanan eşik değerine göre eşleştirme yapılmış [100] ve Eş. (4.9) ile FAR oranı, Eş. (4.10) ile FRR oranı hesaplanmıştır. Bu oranlarda Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Parmak izi kabul ve reddedilme sayıları

| Sistem Sonucu (SS) \ Gerçek Sonuç (GS) | Kabul     | Ret       |
|----------------------------------------|-----------|-----------|
|                                        | Kabul     | Ret       |
| Kabul                                  | <i>TA</i> | <i>FA</i> |
| Ret                                    | <i>FR</i> | <i>TR</i> |

$$FAR = \frac{FA}{FA + TR} \quad (4.9)$$

$$FRR = \frac{FR}{FR + TA} \quad (4.10)$$

Çizelge 4.4. Parmak izi değerlendirme ve karşılaştırma sonuçları-1

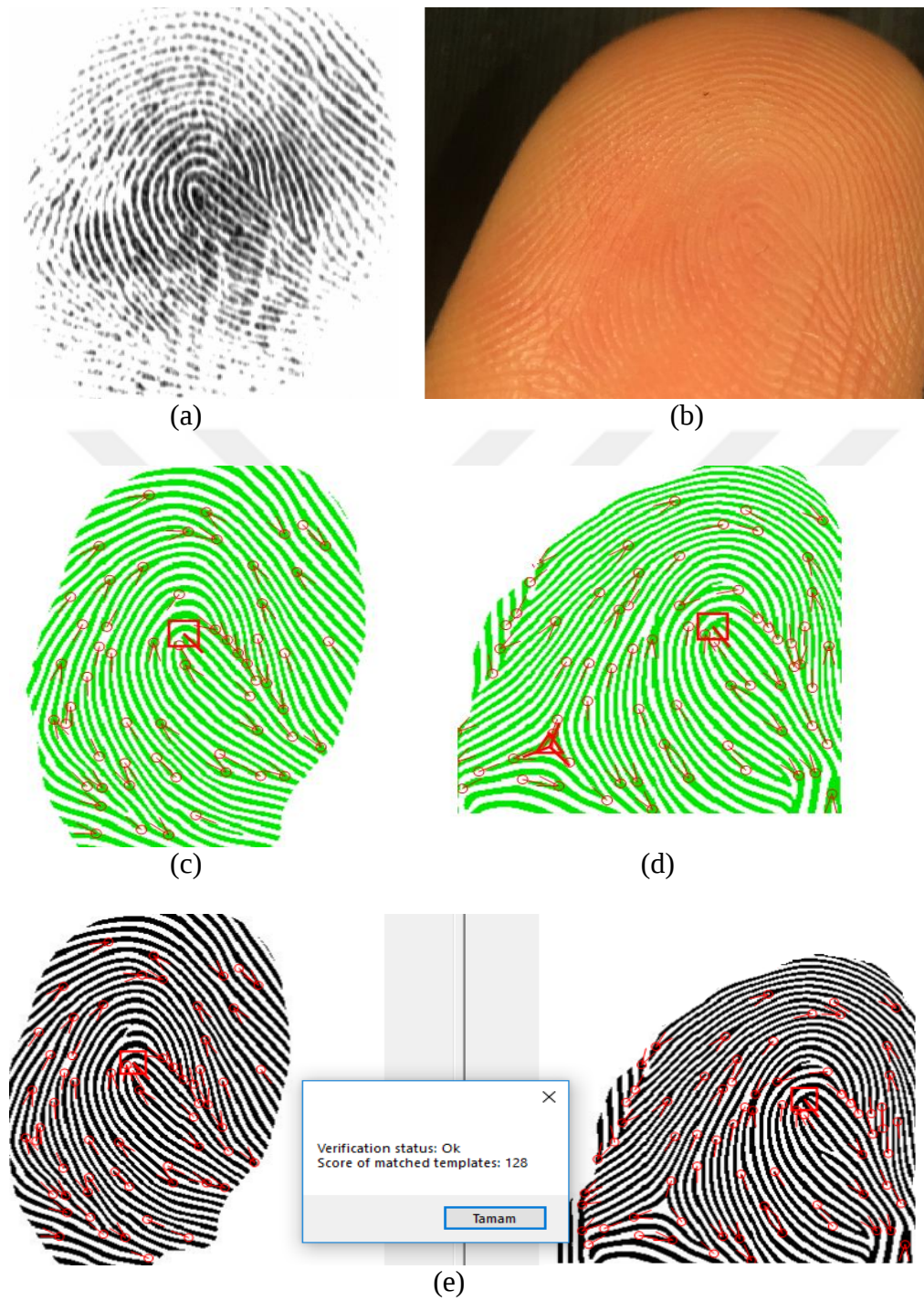
|     |       | Değerlendirme-1<br>(Mobil-Mobil) |         | Değerlendirme-2<br>(Optik-Optik) |         | Değerlendirme-3<br>(FVC 2004) |         | Değerlendirme-4<br>(Mobil-Optik) |         |
|-----|-------|----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-------------------------------|---------|----------------------------------|---------|
| SS  | GS    | Kabul                            | Ret     | Kabul                            | Ret     | Kabul                         | Ret     | Kabul                            | Ret     |
|     | Kabul | TA:50                            | FA:1    | TA: 27                           | FA:8    | TA: 119                       | FA:3    | TA:21                            | FA:14   |
| Ret | Ret   | FR:2                             | TR:5303 | FR:25                            | TR:5296 | FR:161                        | TR:2877 | FR:31                            | TR:5290 |

Çizelge 4.5. Parmak izi değerlendirme ve karşılaştırma sonuçları-2

| Değerlendirme-1<br>(Mobil-Mobil) | Değerlendirme-2<br>(Optik-Optik) | Değerlendirme-3<br>(FVC 2004) | Değerlendirme-4<br>(Mobil-Optik) |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| FAR:% 0.0001<br>FRR:%0.03        | FAR: %0.0015<br>FRR: %0.48       | FAR: %0.0010<br>FRR: %0.57    | FAR:% 0.002<br>FRR: %0.59        |
| 26 kişi:<br>104 görüntü          | 26 kişi:<br>104 görüntü          | 10 kişi:<br>80 görüntü        | 26 kişi:<br>104 görüntü          |

Tez kapsamında geliştirilen prototip ile elde edilen mobil parmak izi görüntüleri için tanıma sistemi performansı FAR %0.0001, FRR ise %0.03 olarak elde edilmiş ve sisteminde %96.15 oranında parmak izlerini doğru tanımladığı görülmüştür. Bu sonuçlar, tez kapsamında optik sensör ile toplanan parmak izleri ve FVC 2004 veri setindeki parmak izleri ile kıyaslandığında, mobil görüntüler ile sistemin daha yüksek sonuç verdiği Çizelge 4.5’de görülmektedir. Tez kapsamında, toplanan parmak izi görüntülerinden çıkarılan ayrıntı noktaları ve bu parmak izlerinin eşleşmesi Şekil 4.26’da yer verilmiştir. Bu görüntüler; aynı kişinin hem mobil hem de optik sensör ile toplanmış parmak izi görüntüsüdür. Görülmektedir ki, tez kapsamında geliştirilen prototip sayesinde mobil cihaz ile toplanan parmak izi görüntüsünden çıkarılan ayrıntı noktaları, optik sensör ile elde edilmiş parmak

izi görüntüsünden çıkarılan ayrıntı noktaları aynı olup bu görüntüler birbirleriyle eşleşmektedir.



Şekil 4.26. Mobil ve optik parmak izi görüntülerinden ayrıntı çıkarımı (a) Orijinal sensör görüntüsü (b) Orijinal mobil görüntüsü (c) Optik görüntüden ayrıntı çıkarımı (d) Mobil görüntüden ayrıntı çıkarımı (e) Ayrıntı noktalarının eşleşmesi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, mobil cihazlar ile parmak izi görüntüsünü kaliteli çekebilmek için karşılaşılan problemler belirlenmiş ve bu problemlerin ışık, ışığın konumlandırılması, çözünürlük, bit derinliği, alan derinliği, parmağın kamera ile uzaklığının değişkenlik göstermesi, görüntüde parmak haricinde objelerin olması, parmak izi çekilen kişinin ya da görüntüyü çeken kişinin elini ani hareket ettirmesinden kaynaklandığı görülmüş bu problemlerin de görüntüde; bulanık, odaklama, ölçekleme, detayı ve ayrıntısı düşük görüntü elde etmeye, önemli özellik noktalarının elde edilmemesine ve parmak döndürme, ölçekleme algoritması kullanılması gibi ihtiyaçları da beraberinde getirdiği belirlenmiştir. Bu problemler çözülmediği takdirde, parmak izi özellik çıkarım ve tanıma sürecinin zorlaşacağı beklenen performansı veremeyeceği ortadadır.

Bu tez kapsamında, mobil cihaz ile parmak izi görüntüsü elde etmede karşılaşılan problemler belirlenmiş, bu problemleri ortadan kaldırmak için prototip geliştirilmiş, tanıma sistemi tasarımı yapılmış ve tasarlanan sistemin performansı test edilmiştir. Yapılan çalışmaların aşamaları, bunların değerlendirme sonuçları ve bazı önemli hususlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Mobil cihazlar ile parmak izi elde etmede karşılaşılan en önemli problemlerden biri kullanılan cihazın teknolojiye bağımlı olmasıdır. Bu cihazlarda kameranın sensör alanı dar olduğu için alan derinliği problemine neden olup ayrıntılı görüntü çekimi gerçekleştirilmemektedir. Bu nedenle, parmak izindeki hat çizgileri belirgin elde edilememektedir. Bu problem; kullanılan cihazın makro özelliği kullanarak ya da parmağın uzak bir mesafeden çekilmesi ile çözülebilmektedir. Ancak her mobil cihaz makro özelliğe sahip olmaması ve uzaktan çekilen görüntünde de farklı objelerin olması, ölçekleme ve odaklama yapılması gerekmektedir. Bu problemi çözmek için tez kapsamında bir sistem tasarlanmış sistem içerisinde harici bir makro lens yerleştirilmiş ve hat çizgileri belirgin hale getirilmiştir. Ayrıca, parmak ile kamera arası uzaklık kısaltılmış, kameranın diyafram açıklığı artırarak detaylı, ayrıntılı ve kaliteli parmak izi görüntüsü elde edilmiştir.
2. Mobil cihazla görüntü çekmede karşılaşılan bir diğer problem, ortamdaki kontrol edilmeyen ışık kaynaklarının olmasıdır. Bu probleme bağlı olarak parmak izi

görüntüsünün bir kısmı ya çok aydınlık ya da çok karanlık olarak elde edilmektedir. Bu durum ise parmak izi hat çizgilerinin belirgin olarak elde edinimini zorlaştırmaktadır. Tez kapsamında, bu problem sarı, beyaz, yeşil, mavi ve UV olmak üzere beş farklı ışık kaynağı kullanılarak test edilmiştir. Sarı ve beyaz ışık kaynağı ile parmak izi görüntülerinin daha belirgin ve ayırt edilebilir olduğu, diğer ışık kaynakları kullanıldığında ise parmak izi hat çizgilerinin ayırt edilemediği görülmüştür. Tez kapsamında ışık problemi, tasarlanan sistem içerisinde yer alan sarı ya da beyaz ışık kaynağı kullanılarak çözülmüştür.

3. Işık kaynağı seçiminin yanı sıra ışık kaynağının konumlandırılması da parmak izi görüntü kalitesini etkilemektedir. Tez kapsamında seçilen ışık kaynakları üç farklı konumlandırma örneği ile parmak üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Bu konumlandırma örnekleri; ışığın parmak yüzeyine yaklaşık 45 derece açı ile tek bir noktadan yansması, ışığın parmak yüzeyine dik bir açı ile tek bir noktadan konumlandırılması ve ışığın parmak yüzeyine homojen olarak dik bir açıdan yansmasıdır. Işık konumlandırma örneklerine göre; ışık tek bir noktadan parmak yüzeyine yansması ile parmak izinde bir kısım bölgede hat çizgileri ayırt edilemediği görülmüştür. Fakat ışık homojen olarak parmak yüzeyine yansıdığında ise hat çizgilerinin parmağın her bölgede ayırt edilebilir bir yapı oluşturulmuştur. Tez kapsamında ışık konumlandırma problemi, ışığın parmak yüzeyine dik ve homojen olarak yansması ile çözülmüştür.
4. Parmak izi görüntüsünde, parmak haricinde objelerin varlığı parmak izi tanıma sürecini etkileyen bir problemdir. Bu problem genellikle görüntü analiz aşamasında çözümlenmektedir. Ancak bu durum görüntü analiz sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Tez kapsamında, parmak izi resmi çekilirken ortam sabitlenerek ve arka plan siyahlaştırılarak parmak haricinde objelerin analiz edilme problemi çözülmüş ve parmağın tespit edilme süreci kolaylaştırılmıştır.
5. Parmak izi görüntüsü çekilen kişinin ya da görüntüyü çeken kişinin elinin titremesi, görüntünün bulanık elde edilmesine yol açmaktadır. Bu problemler ise parmağı çekilen kişinin parmağını hareket ettirmemesi ve fotoğrafı çeken kişinin ise mobil cihazın odaklama ve optik görüntü sabitleyici özelliğini kullanması beklenmektedir. Tez kapsamında bu problem; geliştirilen tasarım kapsamında parmak giriş alanı kısıtlanarak ve harici makro özellik kullanılarak çözülmektedir.
6. Makro özellik ile görüntü yakın bir mesafeden gerçek boyutunda dijital ortama aktarılmaktadır. Bu özellik sayesinde parmak ile kamera arası uzaklık kısaltılmaktadır. Ancak bu görüntü çekimi için bu mesafenin belirlenmiş olması gerekmektedir. Aksi

takdirde, ya bulanık bir görüntü elde edilmekte ya da parmak izinden çıkarılan özelliklerin eşleştirmesini zorlaştırmaktadır. Tez kapsamında, parmağın kameraya olan uzaklığının belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmış, parmak izi görüntüleri yaklaşık 1'er cm aralık ile çekilmiş ve bu görüntülerdeki parmak izi hat çizgi belirginliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde, parmak ile kamera arası uzaklığın 3-5 cm arasında olduğunda çekilen görüntüde hat çizgilerinin belirginliğinin arttığı ve ayırt edilebilir nitelikte görüntüler elde edildiği olduğu yapılan testler ile görülmüştür. Tez kapsamında, geliştirilen tasarım kapsamında parmak ile kamera arası uzaklığın 3-5 cm olan bir yapı içerisinde çekilen görüntülerin bulanıklık problemi çözülmüş ve uzaklık sabitlendiği için çıkarılan özellik noktaların eşleştirme süreci kolaylaştırılmıştır.

7. Yukarıda ifade edilen unsurlar doğrultusunda mobil cihaz ile parmak izi görüntü çekimi için tasarım yapılmış, veri edinim aşaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veri ne kadar kaliteli olursa olsun görüntünün özellik çıkarımına hazır hale getirilmesi için iyileştirme aşamaların uygulanması gerekmektedir. Tez kapsamında bu aşama tasarımı için literatürdeki çalışmalar irdelenmiş ve mobil cihaz ile elde edilen görüntü üzerinde bu aşamalar test edilmiştir.
8. Mobil görüntüler için segmentasyon aşaması, deri rengi tespit algoritmaları uygulanmaktadır. Ancak bu algoritmanın başarısı, görüntüdeki farklı objelerin olmasına bağlı olarak etkilenmektedir. Aynı zamanda bu algoritma birden fazla işlem basamağını içermektedir. Bunlar; deri rengi tespiti algoritması, görüntünün ikili hale dönüştürülmesi, görüntüdeki hataların giderilmesi için morfolojik yaklaşımların uygulanması ve normalize edilmiş görüntü ile birleştirilmesidir. Tez kapsamında bu durum görüntü çekilirken ortamın sabitleştirilmesi ve siyahlaştırılması ile tek bir karşılaştırma parametreleri ile çözülmektedir.
9. Mobil parmak izi görüntüsündeki bulanıklık, gürültü vb. unsurlar, normalizasyon aşamasında giderilmektedir. Bu aşama, mobil görüntü kontrastı normal sensörler ile elde edilen görüntülere göre daha düşük olduğu için mobil görüntüler için oldukça önemlidir. Bu nedenle normalizasyon aşamasında; Medyan filtre, Histogram eşitleme, Kontrast germe Gauss filtre, Wiener filtre ya da Hong-normalizasyonları uygulanmaktadır. Tez kapsamında bu yaklaşımların mobil görüntü üzerindeki etkisi irdelenmiş ve mobil görüntülerin kontrastı temaslı alım sensörler ile elde edilen görüntülere göre oldukça düşük olması bakımından histogram eşitleme yaklaşımının görüntüdeki keskinliği arttırdığı görülmüştür. Ancak bu yaklaşım, görüntünün bütün kontrastını baz alarak uygulandığı parmak izi hat çizgilerinin ayırt edilememektedir. Tez kapsamında,

literatürde de mobil görüntüler için yaygın kullanılan ve blok bazında CLAHE algoritması uygulanmış ve bu yöntem ile parmak hat çizgilerinin belirgin olarak ayırt edilebilmiştir.

10. Mobil parmak izi görüntüleri için en yaygın kullanılan filtreleme yaklaşımı STFT ile filtrelemedir. Tez kapsamında bu yaklaşım, frekans alanına dönüşümde görüntünün tamamını analiz etmesi bakımından güvenilir yön ve frekans çıkarımını garantilemesi ve bu bilgileri eş zamanlı elde ettiği için görüntü analiz sürecini kısaltması bakımından tercih edilmiştir.
11. Tasarlanan tanıma sisteminde; özellik çıkarımı için açık kaynak kodu Source AFIS algoritması kullanılmış, çıkarılan özellikler veritabanında kaydedilmiştir. Tez kapsamında tasarlanan mobil parmak izi tanıma sistemi performansı, tez kapsamında toplanan parmak izi görüntülerin performansı ve FVC 2004 ile elde edilen görüntülerin performansı ile kıyaslanmıştır.
  - Tez kapsamında mobil cihaz ile elde edilen görüntüler için tanıma sistemi performansı FAR %0.0001, FRR %0.03 ve sistem %96.15 oranında doğrulama; optik sensörler ile elde edilen görüntüler için sistem performansı FAR %0.0015, FRR %0.48; FVC2004 veri setindeki izler için sistem performansı ise FAR %0.001, FRR %0.57'dir. Bu sonuç; geliştirilen prototip ile elde edilen mobil görüntülerin hem tez kapsamında optik sensörler ile toplanan hem de FVC 2004 veri setindeki izlere göre tanıma sistemi performansının daha yüksek olduğunu göstermektedir.
  - Tez kapsamında tasarlanan tanıma sistemi ile mobil cihaz ve optik sensörleri ile elde edilen parmak izi görüntüleri de birbirleriyle eşleşmektedir. Bu görüntülerin birbirleri eşleştirme sonucu sistem performansı; FAR %0.002, FRR ise %0.59'dır.

Bu tez kapsamında geliştirilen prototip sayesinde mobil cihazlar ile parmak izi görüntüleri rahatlıkla toplanabilmektedir. Geliştirilen prototipin bu avantajı sayesinde, temaslı alım sensörlerine göre daha başarılı sonuç vermesi bakımından otomatik tanıma sistemlerinde kullanılan klasik alım sensörlerine yerine alternatif bir yaklaşım olarak tercih edilebilir. Aynı zamanda bu prototip ile toplanan mobil görüntülerinin optik sensör ile izler ile toplanan izler ile eşleştirebiliyor olması, gelecek çalışmalarda özellikle olay yerinde tespit edilen latent izlerin ortamdaki şüpheli kişilerden mobil cihazlar ile pratik bir şekilde toplanan izlerle eşleştirme sürecine ışık tutması beklenmektedir.

Bu tez kapsamında, mobil ortamlar için belirli bir standardın olmaması, mobil ortamlar için mevcut veri setlerinin bulunmaması ve geliştirilen sistemin test edilebileceği ve mukayese edilebileceği bir çalışmanın literatürde bulunmaması karşılaşılan güçlüklerdir.

Tez kapsamında, parmak izi görüntüsünü çeken kişinin, geliştirilen prototipte mobil cihazı yakınlaştırarak çekmesi, fotoğrafı çeken kişinin bu duruma sürekli maruz kalması, tanıma sisteminde mobil cihaz ile toplanan görüntü manuel yöntemler ile dijital ortama aktarılması ve parmağın alt bölgesindeki gereksiz bölgelerin analiz edilmesi geliştirilen sistemin iyileştirilmesi gereken özelliklerdir.

Gelecek çalışmalarımızda, mobil cihaz kamerasına kolaylıkla adapte olabilen, parmak izi görüntüsünün gereksiz bölgelerini elimine eden ve bu şekilde çekilen parmak izi görüntülerini cep telefonları üzerinden merkezi bir sunucuya aktaracak bir yapı tasarlanarak yapılan işlem tam otomatik hale getirilecektir.



## KAYNAKLAR

1. Deb, D., Chugh, T., Engelsma, J., Cao, K., Nain, N., Kendall, J., and Jain, A. K. (2018). Matching Fingerphotos to Slap Fingerprint Images, *arXiv preprint arXiv:1804.08122*.
2. Maltoni, D., Maio, D., Jain, A. K., and Prabhakar, S. (2009). *Handbook of fingerprint recognition*, USA, NY, New York: Springer-Verlag, Springer Science and Business Media.
3. Jain, A. K., Nandakumar, K., and Ross, A. (2016). 50 years of biometric research: Accomplishments, challenges, and opportunities, *Pattern Recognition Letters*, 79, 80-105.
4. Gardener, R.M. (2005). *Practical crime scene processing and investigation*. Boca Raton: CRC Press.
5. İnternet: Olay yeri sorgular, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kriminal.pol.tr%2FSayfalar%2Folayyerisorular.aspx&date=2018-12-25>, Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
6. İnternet: ATM'lerde parmak izi dönemi, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.internethaber.com%2Fatmlerde-parmak-izi-donemi-270324.htm&date=2018-12-25>, Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
7. Memon, S., Manivannan, N., Noor, A., Balachadran, W., and Boulgouris, N. V. (2012). Fingerprint sensors: Liveness detection issue and hardware based solutions, *Sensors & Transducers Journal*, 136(1), 35-49.
8. Labati, R. D., Genovese, A., Piuri, V., and Scotti, F. (2014). Touchless fingerprint biometrics: A survey on 2D and 3D technologies, *Internet Technology*, 15(3), 325-332.
9. İnternet: Furman, S. M., Furman, S. M., Stanton, B. C., Theofanos, M. F., Libert, J. M., and Grantham, J. D. (2017). *Contactless Fingerprint Recognition: A Neural Approach for Perspective and Rotation Effects Reduction*, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpiurilabs.di.unimi.it%2FPapers%2Fcibim\\_2013.pdf&date=2018-12-26](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpiurilabs.di.unimi.it%2FPapers%2Fcibim_2013.pdf&date=2018-12-26), Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
10. Piuri, V., and Scotti, F. (2008). *Fingerprint biometrics via low-cost sensors and webcams*, International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems, Arlington, VA, USA, 1-6.
11. Hiew, B. Y., Teoh, A. B., and Ngo, D. C. (2006). *Automatic digital camera based fingerprint image preprocessing*, International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV'06), Sydney Qld, Australia, 182-189.
12. Hiew, B. Y., Teoh, A. B., and Pang, Y. H. (2007). *Digital camera based fingerprint recognition*, International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications, Penang, Malaysia, 676-681.

13. Hiew, B. Y., Teoh, A. B., and Ngo, D. C. (2006). *Preprocessing of fingerprint images captured with a digital camera*, International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Singapore, 1-6.
14. Labati, R. D., Piuri, V., and Scotti, F. (2011). *A neural-based minutiae pair identification method for touch-less fingerprint images*, Workshop on Computational Intelligence in Biometrics and Identity Management (CIBIM), Paris, France, 96-102.
15. Labati, R. D., Piuri, V., and Scotti F. (2010). *Neural-Based Quality Measurement of Fingerprint Images*, International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Barcelona, Spain, 1-8.
16. Labati, R. D., Genovese, A., Piuri, V., and Scotti, F. (2010). *Measurement of the principal singular point in contact and contactless fingerprint images by using computational intelligence techniques*, International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, Italy, 18-23.
17. Yang, J., Xiong, N., and Vasilakos, A. V. (2013). Two-stage enhancement scheme for low-quality fingerprint images by learning from the images, *Transactions on Human-machine Systems*, 43(2), 235-248.
18. Wang, L., Rania, H., El-Maksoud, A., Sasian J. M., and Valencia, V. S. (2009). A novel contactless aliveness-testing (CAT) fingerprint sensor, *The International Society for Optical Engineering*, 7429, 742915.
19. Choi, H., Choi, K., and Kim, J. (2010). Mosaicing touchless and mirror-reflected fingerprint images, *Transactions on Information Forensics and Security*, 5(1), 52-61.
20. Lee, D., Choi, K., Choi, H., and Kim, J. (2008). Recognizable-image selection for fingerprint recognition with a mobile-device camera, *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 38(1), 233-243.
21. İnternet: 2018 Türkiye İnternet Kullanım ve Sosyal Medya İstatistikleri, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdijilopedi.com%2F2018-turki-ye-internet-ku-llanim-ve-sosyal-medya-istatistikleri%2F&date=2018-12-25> Son Erişim Tarihi: 25.12.20 18.
22. Derawi, M. O., Yang, B., and Busch, C. (2011). *Fingerprint recognition with embedded cameras on mobile phones*, International Conference on Security and Privacy in Mobile Information and Communication Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, 136-147.
23. Stein, C., Nickel, C., and Busch, C. (2012). *Fingerphoto recognition with smartphone cameras*, the International Conference of Biometrics Special Interest Group (BIOSIG), Darmstadt, Germany, 1-12.
24. Sankaran, A., Malhotra, A., Mittal, A., Vatsa, M., and Singh, R. (2015). *On smartphone camera based fingerphoto authentication*, International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS), Arlington, VA, USA, 1-7.

25. Ezhilmaran, D., and Adhiyaman, M. (2014). A review study on fingerprint image enhancement techniques, *International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSET)*, 5(6), 625- 631.
26. Guo, J. M., Hsia, C. H., Liu, Y. F., Yu, J. C., Chu, M. H., and Le, T. N. (2012). Contact-free hand geometry-based identification system, *Expert Systems with Applications*, 39(14), 11728-11736.
27. Vijayakumari, V. (2013). Face Recognition Techniques: A Survey, *World Journal of Computer Application And Technology*, 1(2), 41-50.
28. Jain, A. K., Ross, A., and Prabhakar, S. (2004). An introduction to biometric recognition, *Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 4-20.
29. Babatunde, I. G., Kayode, A. B, Charles, A. O., and Olatubosun, O. (2012). Fingerprint image enhancement: segmentation to thinning, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(1), 15-24.
30. Saravanan, M., and Bennet, D. (2016). A Study on Fingerprint Image Enhancement Techniques, *International Journal of Scientific Inventions and Innovations*, 1(1), 41-47.
31. Maltoni, D., and Cappelli, R. (2008). *Fingerprint recognition*, Handbook of biometrics, Boston: Springer.
32. Babler. W. J. (1991). Embryologic development of epidermal ridges and their configuration, *Birth Defects Original Article Series*, 27(2), 95-112.
33. İnternet: Zaeri N. (2011). Minutiae-based Fingerprint Extraction and Recognition, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.intechopen.com%2Fbooks%2Fbiometrics%2Fminutiae-based-fingerprint-extraction-and-recognition&date=2018-12-25> , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
34. Champod, C., and Espinoza, M. (2014). *Forgeries of fingerprints in forensic science*, Hand book of Biometric Anti-Spoofing, London: Springer, 13-34.
35. Hildebrandt, M., Dittmann, J., and Vielhauer, C. (2017). *Capture and Analysis of Latent Marks*, Handbook of Biometrics for Forensic Science, Cham: Springer, 19-35.
36. Hu, Y., Jing, X., Zhang, B., and Zhu, X. (2010). *Low quality fingerprint image enhancement based on Gabor filter*, International Conference on Advanced Computer Control, Shenyang, China, 195-199.
37. İnternet: What are the Different Types of Fingerprint Security?, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.wisegeek.com%2Fwhat-are-the-different-types-of-fingerprint-security.htm&date=2018-12-25> , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
38. İnternet: Video Morpho launches the fastest contactless fingerprint sensor, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.webcitation.org%2F73mSrwtH0&date=2018-12-25> , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.

39. Noh, D., Choi, H., and Kim, J. (2011). Touchless sensor capturing five fingerprint images by one rotating camera, *Optical Engineering*, 50(11), 113-202.
40. Wang, Y., Yu, J. P., Liu, H. W., and Zhang, P. (2011). *Fingerprint image enhancement based on morphological filter*, International Conference on Computational and Information Sciences, Chengdu, China, 34-37.
41. Choomchuay, S., and Sihalath, K. (2010). *An application of second derivative of gaussian filters in fingerprint image enhancement*, International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Chengdu, China, 1-5.
42. Hong L., Wan, Y., and Jain, A.K. (1998). Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation, *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(8), 777-789.
43. Wang, J., and Sun, X. (2010). *Fingerprint image enhancement using a fast Gabor filter*, World Congress on Intelligent Control and Automation, Jinan, China, 6347-6350.
44. Ratha, N. K., Chen, S., and Jain, A. K. (1995). Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images, *Pattern Recognition*, 28(11), 1657-1672.
45. Zhang, X., Gong, X. C., Sun, Z. X., and Sun, L. M. (2010). *A novel algorithm for fingerprint orientation extraction and image enhancement based on Gabor filters*, International Congress on Image and Signal Processing, Yantai, China, 1759-1762.
46. Gottschlich, C. (2012). Curved-region-based ridge frequency estimation and curved Gabor filters for fingerprint image enhancement, *Transactions on Image Processing*, 21(4), 2220-2227.
47. Kabir, W., Ahmad, M. O., and Swamy, M. N. S. (2013). *Enhancement of low-quality finger print images by a three-stage filtering scheme*, International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Columbus, OH, USA, 1306-1309.
48. Chikkerur, S., Cartwright, A. N., and Govindaraju, V. (2007). *Fingerprint enhancement using STFT analysis*, *Pattern recognition*, 40(1), 198-211.
49. İnternet: FVC 2000, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2000%2Fhistory.asp&date=2018-12-25>, Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
50. İnternet: FVC2000: Fingerprint Verification Competition URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2000%2FDownloads%2Ffvc2000\\_report.pdf&date=2018-12-25](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2000%2FDownloads%2Ffvc2000_report.pdf&date=2018-12-25), Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
51. İnternet: Neurotechnology VeriFinger SDK, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.neurotechnology.com%2Fverifinger.html&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
52. İnternet: FVC2002: Second Fingerprint Verification Competition, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2002%2FDownloads%2FFVC2002\\_ICPR.pdf&date=2018-12-25](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2002%2FDownloads%2FFVC2002_ICPR.pdf&date=2018-12-25), Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.

53. İnternet: Average results over all databases, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2002%2Fresults%2FresultsAvg.asp&date=2018-12-25> , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
54. İnternet: FVC 2004 Databases, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2004%2Fdatabases.asp&date=2018-12-25> , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
55. İnternet: FVC 2004 Open Category: Average results over all databases, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2004%2Fresults%2FOpen\\_resultsAvg.asp&date=2018-12-25](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2004%2Fresults%2FOpen_resultsAvg.asp&date=2018-12-25) , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
56. İnternet: FVC 2006 Databases, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2006%2Fdatabases.asp&date=2018-12-25> , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
57. İnternet: FVC 2006 Open Category: Average results over all databases, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2006%2Fresults%2FOpen\\_resultsAvg.asp&date=2018-12-25](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbias.csr.unibo.it%2Ffvc2006%2Fresults%2FOpen_resultsAvg.asp&date=2018-12-25) , Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
58. Birajadar, P., Gupta, S., Shirvalkar, P., Patidar, V., Sharma, U., Naik, A., and Gadre, V., (2016). *Touch-less fingerphoto feature extraction, analysis and matching using monogenic wavelets*, International Conference on Signal and Information Processing (IconSIP), Vishnupuri, India, 1-6.
59. Parziale, G. (2008). *Touchless Fingerprinting Technology*, Advances in Biometrics, Springer, London, 25-48.
60. Labati, R. D., Genovese, A., Piuri, V., and Scotti, F. (2013). *Contactless fingerprint recognition: a neural approach for perspective and rotation effects reduction*, Symposium on Computational Intelligence in Biometrics and Identity Management (CIBIM), Singapore, 22-30.
61. Wang, L., El-Maksoud, R. H. A., Sasian, J. M., and Valencia, V. S. (2009). Illumination scheme for high-contrast, contactless fingerprint images, *Novel Optical Systems Design and Optimization XII*, 7429, 742911.
62. Tiwari, K., and Gupta, P. (2015). *A touch-less fingerphoto recognition system for mobile hand-held devices*, International Conference on Biometrics (ICB), Phuket, Thailand, 151-156.
63. Galbally, J., Bostrom, G., and Beslay, L. (2017). *Full 3D touchless fingerprint recognition: Sensor, database and baseline performance*, International Joint Conference on Biometrics (IJCB), Denver, CO, USA, 225-233.
64. Russ, J. C. (2016). *The image processing handbook*, NEW YORK: CRC press.
65. Namdeo, A., and Bhadoriya, S. S. (2016). A Review on Image Enhancement Techniques with its Advantages and Disadvantages, *International Journal for Scientific Research and Development*, 2(5), 171-182.

66. Telgad, R., Siddiqui, A. M., and Deshmukh, P. (2014). Fingerprint image segmentation using global thresholding, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(1), 216-9.
67. Vala, M. H. J., and Baxi, A. (2013). A review on Otsu image segmentation algorithm, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering and Technology*, 2(2), 387-389.
68. Akram, M. U., Nasir, S., Tariq, A., Zafar, I., and Khan, W. S. (2008). *Improved fingerprint image segmentation using new modified gradient based technique*, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Niagara Falls, ON, Canadapp. 1967-1972.
69. Liu, D., and Yu, J. (2009). *OTSU method and K-means*, International Conference on Hybrid Intelligent Systems, Shenyang, China, 344-349.
70. Balti, A., Sayadi, M., and Fnaiech, F. (2011). *Segmentation and enhancement of finger print images using K-means, fuzzy C-mean algorithm and statistical features*, International Conference on Communications, Computing and Control Applications, Hammamet, Tunisia, 1-5.
71. Stein, C., Bouatou, V., and Busch, C. (2013). *Video-based fingerphoto recognition with anti-spoofing techniques with smartphone cameras*, International Conference of the BIOSIG Special Interest Group (BIOSIG), Darmstadt, Germany, 1-12.
72. Raghavendra, R., Busch, C., and Yang, B. (2013). *Scaling-robust fingerprint verification with smartphone camera in real-life scenarios*, International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems, Arlington, VA, USA, 1-8.
73. İnternet: Gupta, S., Anand, S., and Rai, E., , *Fingerprint Extraction Using Smartphone Camera*, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F318899084\\_Fingerprint\\_Extraction\\_Using\\_Smartphone\\_Camera&date=2018-12-25](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F318899084_Fingerprint_Extraction_Using_Smartphone_Camera&date=2018-12-25), Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
74. Ryu, C., Kong, S. G., and Kim, H. (2011). Enhancement of feature extraction for low-quality fingerprint images using stochastic resonance, *Pattern Recognition Letters*, 32(2), 107-113.
75. İnternet: Aydın, İ. Görüntü Restorasyonu, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.firat.edu.tr%2Fiaydin%2Fbmu357%2Fbmu\\_357\\_bolum5.pdf&date=2018-12-25](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.firat.edu.tr%2Fiaydin%2Fbmu357%2Fbmu_357_bolum5.pdf&date=2018-12-25), Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
76. Dyre, S., and Sumathi, C. P. (2014). *Hybrid approach to enhancing fingerprint images using filters in the frequency domain*, International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, Coimbatore, India, 1-6.
77. Saeed, A., Tariq, A., and Jawaid, U. (2011). *Automated system for fingerprint image enhance ment using improved segmentation and Gabor wavelets*, International Conference on Information and Communication Technologies, Karachi, Pakistan, 1-6.

78. Zhang, Y., and Xiao, Q. (2006). *An optimized approach for fingerprint binarization*, International Joint Conference on Neural Network Proceedings, Vancouver, BC, Canada, 391-395.
79. Sağiroğlu, S., ve Ozkaya, N. (2006). Otomatik Parmakizi Tanıma Sistemlerinde Kullanılan Önislemler için Yeni Yaklaşımlar, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 11-19.
80. Halici, U., and Ongun, G. (1996). Fingerprint classification through self-organizing feature maps modified to treat uncertainties, *Proceedings of the IEEE*, 84(10), 1497-1512.
81. Ozkaya, N., and Sagioglu, S. (2006). *An intelligent automatic fingerprint recognition system design*, International Conference Machine Learning and Applications (ICMLA), USA, 231-238.
82. İnternet: Jain A. K., Feng, J., and Nandakumar, K. *Fingerprint Matching*, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiometrics.cse.msu.edu%2FPublications%2FFingerprint%2FJainFpMatching\\_IEEEComp10.pdf&date=2018-12-25](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbiometrics.cse.msu.edu%2FPublications%2FFingerprint%2FJainFpMatching_IEEEComp10.pdf&date=2018-12-25), Son Erişim Tarihi: 25.12.2018.
83. Schmidt, E., and Cohen, J. (2013). *The new digital age: Reshaping the future of people, nations and business*, Hachette UK.
84. Kovesi, P. (1996). *Invariant measures of image features from phase information*, Doctoral dissertation, University of Western Australia.
85. Narendran, N., and Gu, Y. (2005). Life of LED-based white light sources, *Journal of display technology*, 1(1),167.
86. İnternet: Image Resolution, Size and Compression, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fmicroscopemicroscope.org%2Fmicroscopeinfo%2Fimage-resolution%2F&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
87. İnternet: Duyar U., Dijital Görüntü Teknolojileri, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.emo.org.tr%2Fekler%2Fd0a1775096d802e\\_ek.pdf%3Fdergi%3D625&date=2018-12-26](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.emo.org.tr%2Fekler%2Fd0a1775096d802e_ek.pdf%3Fdergi%3D625&date=2018-12-26), Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
88. İnternet: Photography Basics National Geographic, URL: [http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.com%2Fcontent%2Fdam%2Fngdotcom%2Frights-exempt%2FNatGeo\\_GuideToPhotography.pdf&date=2018-12-26](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.com%2Fcontent%2Fdam%2Fngdotcom%2Frights-exempt%2FNatGeo_GuideToPhotography.pdf&date=2018-12-26), Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
89. İnternet: Sartore, J., Fundamentals of Photography, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fguidebookstgc.snagfilms.com%2F7901%2520Fundamentals%2520of%2520Photography.pdf&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
90. İnternet: How Effective is Optical Image Stabilization?, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.adorama.com%2Falc%2F0008288%2Farticle%2FHow-Effective-is-Optical-Image-Stabilization&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.

91. İnternet: Flagship smartphones: Specs, benchmarks and prices for iPhone, Samsung, Huawei and more, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.zdnet.com%2Farticle%2Fflagship-smartphones-specs-benchmarks-and-prices-for-iphone-samsung-huawei-and-more%2F&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
92. İnternet: Makro Fotoğrafçılığı için Lensler, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.canon.com.tr%2Flenses%2Fexplore-lenses-by-photo-type%2Fmacro-lenses%2F&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 26.12.2018.
93. İnternet: Işık Dalga Boyları, URL: [https://ipfs.io/ipfs/Qme2sLfe9ZMdiuWsEtaJWM DzX\\_6B7VbjzpSC2VWhtB6GoB1/wiki/I%C5%9F%C4%B1k.html](https://ipfs.io/ipfs/Qme2sLfe9ZMdiuWsEtaJWM DzX_6B7VbjzpSC2VWhtB6GoB1/wiki/I%C5%9F%C4%B1k.html), Son Erişim Tarihi: 26.12. 2018.
94. İnternet: Ultraviyole Işık, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.lightlab.com%2Fsmarter-uv-light%2Fwhat-is-uv-light&date=2018-12-26> Son Erişim Tarihi: 26.11.2018.
95. Pizer, S. M., Amburn, E. P., Austin, J. D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., and Zuiderveld, K. (1987). *Adaptive histogram equalization and its variations. Computer vision, graphics, and image processing*, Computer vision, graphics, and image processing, 39(3), 355-368.
96. Zhiyuan X., Liu, X., and Xiaonan, C. (2009). Fog removal from color images using contrast limited adaptive histogram equalization. *International Congress on Image and Signal Processing*, Tianjin, China, 1-5.
97. İnternet: SourceAFIS. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsourceafis.machinezoo.com%2F&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 26.11.2018.
98. İnternet: Vojtek, P. How to Evaluate Accuracy of Biometric Systems, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsourceafis.machinezoo.com%2F&date=2018-12-26>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2018.
99. Mueller, R., and Sanchez-Reillo, R. (2009). *An approach to biometric identity management using low cost equipment*, Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Kyoto, Japan, 1096-1100.
100. İnternet: MegaMatcher 10.0, VeriFinger 10.0, VeriLook 10.0, VeriEye 10.0 and VeriSpeak 10.0 SDK URL: [http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.fulcrumbiometrics.com%2Fv%2Fvspfiles%2Fassets%2Fdownloads%2FNeurotec Biometric SDK Documentation.pdf&date=2018-12-27](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.fulcrumbiometrics.com%2Fv%2Fvspfiles%2Fassets%2Fdownloads%2FNeurotec%20Biometric%20SDK%20Documentation.pdf&date=2018-12-27), Son Erişim Tarihi: 27.12.2018.
101. İnternet: Algorithm transparency, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsourceafis.machinezoo.com%2Ftransparency%2F&date=2019-01-01>, Son Erişim Tarihi: 01.01.2019.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :ÜLKER, Mehtap  
 Uyuğu :T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri :12.10.1990, Malatya  
 Medeni hali :Bekâr  
 e-mail : mehtapulker@gazi.edu.tr



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                               | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|---------------------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi /Bilgisayar Mühendisliği  | Devam ediyor     |
| Lisans        | Fırat Üniversitesi/ Bilgisayar Mühendisliği | 2013             |
| Lise          | Hıdır Sever Lisesi                          | 2007             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                                       | Görev               |
|-----------|-------------------------------------------|---------------------|
| 2016-2019 | Gazi Üniversitesi/Bilgisayar Mühendisliği | Araştırma Görevlisi |

### Yabancı Dil

İngilizce (YDS-65)

### Yayınlar

1. Ulker, M., Arslan, B., and Sagioglu, S. (2017). *Evaluation of Fingerprint Enhancement Techniques Used by Crime Scene Investigation*, International Conference Information Security And Cryptology, Ankara, Turkey, 30-37.
2. Arslan, B., Ulker, M., and Sagioglu, S. (2017). *Machine Learning Methods Used in Evaluations of Secure Biometric System Components*, International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Cancun, Mexico, 448-453.

### Hobiler

Yüzme, Gitar, Dans.



*GAZİ GELECEKTİR..*