



AKILLI TELEFON TEMELLİ PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMLERİ

Bilgehan ARSLAN

DOKTORA TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

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.

...

Bilgehan ARSLAN

17/06/2021

AKILLI TELEFON TEMELLİ PARMAKİZİ TANIMA SİSTEMLERİ

(Doktora Tezi)

Bilgehan ARSLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Parmak izi tabanlı biyometrik sistemler yüksek güvenilirlikli platformlar geliştirebilmek veya adli bilimler alanında suçlu tespit edebilmek gibi farklı amaçlarla birçok uygulama alanında kullanılmakta ve çok kritik görevler üstlenmektedir. Bu tez çalışmasında, parmak izi tabanlı biyometrik sistemlerin kullanıldığı uygulama alanlarına hizmet edecek MAFIS ve MAFIS adında iki farklı sistem önerisi sunulmuştur. MAFIS; bireyden veri kaybına, gürültüye, deformasyona sebebiyet vermeden ve temassız edinim yöntemlerinin dezavantajlarından etkilenmeden parmak izi toplayabilen ve bu izi kullanarak tanımlama/doğrulama yapabilen sistemdir. MAFIS ise, olay yerinde şüphelinin bıraktığı görünmez parmak izini kimyasal ve/veya fiziksel müdahale gerektirmeden, tahribatsız ve temassız toplayabilen ve bu izi kullanarak tanımlama yapabilen sistemdir. MAFIS ve MAFIS, özellikle akıllı telefonlar üzerinde çalışabilecek şekilde geliştirilmiş olup, parmak izinin tespiti, geliştirilmesi ve toplanması için özel olarak tasarlanmış her sistem için ayrı tasarlanmış iki farklı aparatın kullanıldığı veri edinim düzeneklerine sahiptir. Bu düzenekler kullanılarak her iki sistemden toplanan parmak izlerinin tanımlama/doğrulama için kullanılabilir nitelikte olduğunu tespit edebilmek adına, toplanan parmak izleri ön işleme süreçlerine tabi tutularak eşleştirme sürecine hazır hale getirilmiştir. MAFIS ve MAFIS, biyometrik sistemlerinin taşınabilir olmama, yüksek maliyetli tasarım ve teknoloji gereksinimleri, karmaşık ve uzmanlık gerektiren uygulama basamakları içerme problemlerini gideren, uçtan uca çözüm önerileridir. Her iki sistemin performanslarını analiz edebilmek için, bireylerin geleneksel yöntemlerle toplanan parmak izleri ile önerilen sistemler kullanılarak toplanan parmak izleri literatürde kabul görmüş eşleştiriciler (VeriFinger-SDK ve SourceAFIS) kullanılarak karşılaştırılmış, eşleşme başarıları değerlendirilmiş ve doğruluk oranları MAFIS için %98 ve MAFIS için %96 olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, önerilen sistemlerin tanımlama/doğrulama performanslarının kabul görür nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu sistemlerin tanımlama/doğrulamada kullanılan süreçlerinin iyileştirilmesine, hızlandırılmasına ve maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlayacağı, en önemlisi ihtiyaç duyulan uzman gereksinimlerini azaltacağı değerlendirilmektedir.

Bilim Kodu : 92411

Anahtar Kelimeler : Parmak izi, görünmez parmak izi, olay yeri, temassız veri toplama, akıllı telefon, geliştirme, ön işleme, eşleştirme, AFIS, sistem

Sayfa Adedi : 198

Danışman : Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

FINGERPRINT RECOGNITION SYSTEMS BASED ON SMARTPHONES

(Ph. D. Thesis)

Bilgehan ARSLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

Fingerprint-based biometric systems are used in many application areas for different purposes, such as developing high-reliability platforms or detecting criminals in forensic sciences, and perform very critical tasks. In this thesis, two different system proposals are presented, called MAFIS and MALFIS, which serves the application areas where fingerprint-based biometric systems are used. MAFIS is a system that can collect fingerprint from the individual without causing data loss, noise, deformation and without being affected by the disadvantages of touch-based acquisition methods, and identify/verify by using this trace. MALFIS, on the other hand, is a system that can collect the latent fingerprint left by the suspect at the crime scene, using non-destructive and contactless methods, without the need for chemical and/or physical intervention, and make identification using this trace. MAFIS and MALFIS have been specially developed to work on smartphones, and have data acquisition mechanisms for which two different apparatuses are used specially designed for fingerprint detection, development and collection. In order to determine whether the fingerprints collected from both systems using these mechanisms are utilisable for identification/verification, these fingerprints are subjected to pre-processing and make ready for the matching. MAFIS and MALFIS are end-to-end solutions that solve biometric systems' problems such as not being portable, high-cost design and technology requirement, inclusion of complex and specialized application steps. In order to analyze the performances of proposed systems, the individuals' fingerprints collected using traditional methods and using the proposed systems have been compared using matchers accepted in the literature (VeriFinger-SDK and SourceAFIS), the matching successes have been evaluated, and the accuracy rates obtained for MAFIS and MALFIS have been measured as 98% and 96%, respectively. These findings demonstrate that proposed systems are acceptable in terms of identification and verification accuracy. It is considered that these systems might contribute to the development, acceleration and reduction of costs of the processes used in identification/verification, and most significantly, and reduce the need for experts.

Science Code : 92411

Key Words : Fingerprint, latent, crime scene, contactless, touchless, acquisition, smartphone, development, preprocessing, matching, AFIS, system

Page Number : 198

Supervisor : Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim ve çalışmalarım boyunca engin deneyimlerinden ilmi ve fikri manada feyiz aldığım, bana derin bir ufuk kazandıran, müstesna kişiliği ile bana ilham veren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU'na çok müteşekkirim.

Öğretmenlik mesleğini icra etmiş ebeveynlerimin ve halen icra etmekte olan ablalarımın ilk kaidesi “Kaynaşmış bir millet haline gelmenin, çağdaşlaşmanın, kalkınmanın, hür ve demokratik bir toplum olabilmenin en etkili aracı eğitimidir” şeklindedir. Bu idealizm çerçevesinde beni geleceğe hazırlayan aile fertlerime teşekkürü borç bilirim.

Son olarak, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve bilgisayar başında geçirdiğim uzun gecelerde yanımdan hiç ayrılmayan biricik dostlarım Pardus, Sipsi ve Çakıl'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. PARMAK İZİ BİYOMETRİSİ.....	13
2.1. Parmak İzi Kalıpları ve Karakteristikleri	13
2.1.1. Global özelliklerin belirlenmesi (Seviye-1 karakteristikleri).....	13
2.1.2. Lokal özelliklerin belirlenmesi (Seviye-2 karakteristikleri)	15
2.1.3. Seviye-3 karakteristik özelliklerin belirlenmesi.....	16
2.2. Parmak İzi Edinimi	16
2.3. Parmak İzi Sınıflandırması.....	19
2.4. Adli Bilimler ve Parmak İzi İlişkisi	19
2.4.1. Adli bilimlerde kullanılan delil türleri	20
2.4.2. Latent parmak izleri	21
2.4.3. Latent parmak izinin adli geçerlilik standartları	22
2.5. Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemleri.....	24
2.6. Latent Parmak İzlerinin Karşılaştırılması	26
2.7. ACE-V Metodolojisi	27
2.8. Adli Parmak İzlerinin Kişiselleştirilmesinde Karşılaşılan Zorluklar	29

	Sayfa
2.8.1. Parmak izinin ayırt ediciliği	29
2.8.2. İnsan faktörünün etkisi.....	30
3. MOBİL OTOMATİK PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ	33
3.1. Motivasyon ve Hedefler	33
3.2. Çalışmanın Katkısı.....	35
3.3. Parmak İzi Algılama Yöntemleri Üzerine Genel Bir Bakış.....	36
3.3.1. Parmak izinin temassız edinim yöntemleri	38
3.3.2. Parmak izinin temassız edinim yöntemleri	41
3.3.3. Temassız ve temassız edinim yöntemlerinin içsel problemleri.....	43
3.4. MAFIS için Parmak İzi Algılama ve Geliştirme Prosedürünün Belirlenmesi	44
3.4.1. Veri edinim ortamının tasarlanması	47
3.4.2. Veri edinim standartlarının belirlenmesi.....	51
3.5. Temassız Yöntemlerle Toplanan Parmak İzlerinin İyileştirilmesi.....	53
3.6. MAFIS için Parmak İzi Görüntüsü Ön İşleme Prosedürünün Belirlenmesi	60
3.6.1. Parmak izinin segmentasyonu.....	61
3.6.2. MAFIS için önerilen segmentasyon yaklaşımı	64
3.6.3. Parmak izinin iyileştirilmesi	64
3.6.4. MAFIS için önerilen iyileştirme yaklaşımı.....	66
3.7. Parmak İzi Eşleştirme Yöntemleri	78
3.8. MAFIS için Parmak İzi Karşılaştırma Protokolünün Belirlenmesi	82
3.8.1. MAFIS veri edinim aşamasının tasarım ortamı	82
3.8.2. MAFIS'in test edilmesi için kullanılan veri tabanları.....	83
3.8.3. Parmak izi eşleştirme prosedürünün belirlenmesi.....	84
3.8.4. Performans ölçütlerinin belirlenmesi	85

	Sayfa
3.8.5. Analiz ve doğrulama	87
3.9. MAFIS'in Çalışma Mekanizması	92
3.10. Bölüm Değerlendirilmesi	98
4. MOBİL OTOMATİK GÖRÜNMEZ PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ.....	101
4.1. Motivasyon ve Hedefler	101
4.2. Çalışmanın Katkısı	104
4.3. Olay Yeri İnceleme ve Parmak İzinin Kriminal Analizi.....	105
4.4. Olay Yeri İnceleme Bileşenleri.....	107
4.4.1. Bilgi edinme bileşeni.....	108
4.4.2. Alan uzmanının faaliyeti bileşeni.....	108
4.4.3. Teknik değerlendirme bileşeni	110
4.5. Latent Parmak İzi Geliştirme ve Görselleştirme Üzerine Genel Bir Bakış	111
4.5.1. Latent parmak izi için kullanılan fiziksel geliştirme yöntemleri	113
4.5.2. Latent parmak izi için kullanılan kimyasal geliştirme yöntemleri.....	114
4.5.3. Latent parmak izi için kullanılan optik algılama ve geliştirme yöntemleri	114
4.6. Işığın Optik Algılama ve Geliştirme Yöntemlerinde Kullanılması	115
4.6.1. Elektromanyetik radyasyon ve elektromanyetik spektrum	115
4.6.2. Görünür ışık kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi.....	117
4.6.3. Lüminesans etkisi kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi.....	118
4.6.4. Morötesi (UV) aydınlatma kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi ..	120
4.6.5. Kızılötesi (IR) aydınlatma kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi...	123
4.7. MAFIS için Parmak İzi Algılama ve Geliştirme Prosedürünün Belirlenmesi .	123
4.7.1. Optik geliştirme yönteminin çalışma prensibi ve etkili olduğu yüzeylerin değerlendirilmesi.....	126

	Sayfa
4.7.2. Veri edinim aşamasının tasarlanması.....	128
4.8. Latent Parmak İzlerinin İyileştirilmesi.....	133
4.9. MAFIS için Latent Parmak İzi Ön İşleme Prosedürünün Belirlenmesi	137
4.9.1. Latent parmak izinin segmentasyonu.....	138
4.9.2. MAFIS için önerilen segmentasyon yaklaşımı.....	140
4.9.3. Optik yöntemlerle geliştirilen latent parmak izinin iyileştirilmesi	143
4.9.4. MAFIS için önerilen iyileştirme yaklaşımı	144
4.10. Latent Parmak İzinin Eşleştirme Yöntemleri.....	151
4.11. MAFIS için Parmak İzi Karşılaştırma Protokolünün Belirlenmesi.....	154
4.11.1. MAFIS veri edinim aşamasının tasarım ortamı.....	154
4.11.2. MAFIS'in test edilmesi için kullanılan veri tabanları	155
4.11.3. Parmak izi eşleştirme prosedürünün belirlenmesi.....	155
4.11.4. Analiz ve doğrulama	156
4.12. MAFIS'in Çalışma Mekanizması	159
4.13. Bölüm Değerlendirilmesi	167
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	171
KAYNAKLAR	177
EKLER.....	197
Ek-1. MAFIS için patent başvuru belgesi.....	198
ÖZGEÇMİŞ	199

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Parmak izi algılama üzerine yapılan çalışmalar	37
Çizelge 3.2. Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmalar	45
Çizelge 3.3. Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmaların veri iyileştirme prosedürleri açısından incelenmesi ..	55
Çizelge 3.4. Parmak izi eşleştirme üzerine yapılan çalışmalar	81
Çizelge 3.5. Veri seti oluşturma aşamasında kullanılan cihazların spesifikasyonları ve toplanan verinin özellikleri	83
Çizelge 3.6. MAFIS'in test edilmesi için kullanılan veri kümelerinin özellikleri	84
Çizelge 3.7. MAFIS performans değerlendirilmesi için oluşturulmuş senaryolarda kullanılan veri setlerinin özellikleri	90
Çizelge 3.8. MAFIS'in performans değerlendirilmesi için karmaşıklık matrisinin analizi	91
Çizelge 4.1. Latent parmak izi algılama ve geliştirme için kullanılan optik yöntemlerin veri topladığı yüzey, kullandığı metot ve önerdiği yaklaşımlar üzerinden özetlenmesi	125
Çizelge 4.2. Latent parmak izi iyileştirme yaklaşımlarının incelenmesi	135
Çizelge 4.3. Latent parmak izinin segmentasyonu üzerine yapılan çalışmalar	140
Çizelge 4.4. MALFIS'in test edilmesi için kullanılan veri kümelerinin özellikleri	155
Çizelge 4.5. MALFIS performans değerlendirilmesi için oluşturulmuş senaryolarda kullanılan veri setlerinin özellikleri	157
Çizelge 4.6. MALFIS'in performans değerlendirilmesi için karmaşıklık matrisinin analizi	159

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tanımlama/doğrulama için geliştirilen biyometrik sistemlerde dikkat edilmesi gereken hususlar	5
Şekil 1.2. Delil niteliğindeki parmak izinin adli açıdan incelenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar	7
Şekil 2.1. Parmak izindeki ulnar ve radial döngüler	14
Şekil 2.2. Basit helezonik parmak izi (a), merkezi cep döngüsüne sahip helezonik parmak izi (b), çift döngülü helezonik parmak izi (c), rastlantısal helezonik parmak izi (d)	14
Şekil 2.3. Basit ark ve T-tipi ark parmak izleri.....	15
Şekil 2.4. Parmak izinin galton ayrıntıları, çatallanma (bifurcation) (a), kısa sırt (short ridge) (b), ada (point, dot) (c), üçe çatallanma (trifurcation) (d), köprü (bridge) (e), kanca (spur, hook) (g), kopma (break) (h), göl (enclosure) (i), örtüşme (overlap) (j), kesişmeli kopan sırt (crossbar) (k), karşıt ikiye çatallanma (opposed bifurcation) (l), kesinti (dock) (m), geri dönüş (return) (n)	16
Şekil 2.5. Parmak izinin Seviye-3 karakteristikleri, gözenek (pore) (a), çizgi şekli (ridge shape) (b), yeni başlayan sırt (incipient ridge) (c), kırışıklık (creases) (d), yumru/siğil (warts) (e), yara (scars) (f).....	16
Şekil 2.6. Temaslı ve temassız parmak izi toplama yöntemleri.....	17
Şekil 2.7. Parmak izi baskıları	19
Şekil 2.8. Kriminal vakalarda karşılaşılan delil türleri	21
Şekil 2.9. Olay yeri bileşenleri ve inceleme esnasında uyulması gereken temel unsurlar	22
Şekil 2.10. Olay yeri bileşenlerinin değerlendirme kriterleri	24
Şekil 3.1. Parmak izinin temasa dayalı ediniminde kullanılan yöntemler	38
Şekil 3.2. Optik yöntem kullanarak parmak izi edinimi (a), kapasitif yöntem kullanarak parmak izi edinimi	39
Şekil 3.3. Ultrasonik yöntem kullanarak parmak izi edinimi (a), termal yöntem kullanarak parmak izi edinimi	39
Şekil 3.4. Basınç temelli yöntem kullanarak parmak izi edinimi	40

Şekil	Sayfa
Şekil 3.5. Parmak izinin temassız ediniminde kullanılan yöntemler	41
Şekil 3.6. RTFI ve TTFI kullanılarak temassız parmak izi ediniminin çalışma mekanizması	42
Şekil 3.7. Temassız veri edinimi için tasarlanan aparat	47
Şekil 3.8. MAFIS için geliştirilen veri toplama aparatının çalışma düzeneği (a), patlatılmış görüntüsünün üst (b) ve alt perspektiften görüntüsü (c).....	52
Şekil 3.9. Parmak izi iyileştirme basamakları.....	60
Şekil 3.10. Temassız toplanan parmak görüntüsünün ön ve arka plan alanı	61
Şekil 3.11. Literatürde segmentasyon için kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması	62
Şekil 3.12. Farklı piksel temelli iyileştirme yaklaşımlarının geliştirilen aparat ile toplanan parmak görüntüsüne uygulanması, giriş görüntüsü (a), Hong normalizasyon (b), kontrast germe (c), histogram eşitleme (d), Wiener filtreleme (e), adaptif histogram eşitleme (f), histogram dağılım grafiği (g)	67
Şekil 3.13. Orijinal (a) ve kırpılmış (b) histogramlar	68
Şekil 3.14. Orijinal görüntü (a), CLAHE uygulanmış görüntü (b)	70
Şekil 3.15. Filtreleme modelleri ile parmak izi iyileştirilmesi.....	72
Şekil 3.16. Sırt çizgilerinin sinüzoidal şekilli bir dalga olarak betimlenmesi	76
Şekil 3.17. Temassız edinim ile toplanan parmak görüntüsüne (a) piksel tabanlı (b) ve uzamsal filtreleme tabanlı (c) iyileştirme yöntemlerinin uygulanması....	77
Şekil 3.18. ROC eğrisi kullanılarak veri seti A (I eğrisi), veri seti B (II eğrisi), veri seti C (III eğrisi) ve veri seti D'nin (IV eğrisi) eşleşme performanslarının değerlendirilmesi.....	89
Şekil 3.19. MAFIS'i oluşturan modüllerin iletişimi	92
Şekil 3.20. Toplama ve geliştirme modülü akış diyagramı	93
Şekil 3.21. İyileştirme modülü akış diyagramı	94
Şekil 3.22. Özellik çıkarım modülü akış diyagramı	95
Şekil 3.23. Eşleştirme modülü akış diyagramı.....	96
Şekil 3.24. Kontrol modülü akış diyagramı	98

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Plastik (a), patent (b) ve tozla geliştirmiş latent (c) parmak izi	106
Şekil 4.2. Latent parmak izinin görünürlüğünü arttırmak için kullanılan geliştirme yaklaşımlarının yüzey tiplerine göre sınıflandırılması	112
Şekil 4.3. Elektromanyetik spektrum.....	116
Şekil 4.4. Elektromanyetik radyasyon ve bir yüzey arasındaki etkileşimlerin gösterimi	117
Şekil 4.5. Görünür ışığın düzgün, dağınık ve saçılmış yansıma örnekleri	118
Şekil 4.6. Latent parmak izinin lüminesans tekniği ile görselleştirilmesi, (a) fosforesans (luminol) kullanılarak geliştirilmiş parmak izi, floresans (rodamin 6g) kullanılarak geliştirilmiş parmak izi.....	120
Şekil 4.7. UV-VIS lüminesansı ile latent parmak izin geliştirilmesi (a), UV-UV lüminesansı ile latent parmak izin geliştirilmesi	121
Şekil 4.8. UV radyasyon yansıması ile latent parmak izin geliştirilmesi	122
Şekil 4.9. Latent parmak izi edinme aparatı (a), MALFIS'in latent parmak izini tespit etme mekanizması (b)	129
Şekil 4.10. MALFIS için tasarlanan latent parmak izi tespit etme, geliştirme ve toplama aparatının çalışma düzeneği (a), patlatılmış görüntüsünün alt perspektiften görüntüsü (b)	131
Şekil 4.11. MALFIS ile gözeneksiz ve yansıma özelliği olan yüzeylerde toplanan latent parmak izi örnekleri	133
Şekil 4.12. Tozlama yöntemi ile pvc kaplama yüzey (a) ve mermer yüzeyden (b) toplanan latent parmak izi, metal yüzeyden (c) MALFIS ile toplanan parmak izi	141
Şekil 4.13. MALFIS ile toplanan latent parmak izinin CLAHE kullanılarak iyileştirilmesi.....	145
Şekil 4.14. MALFIS ile toplanan latent parmak izinin STFT ile filtrelenmesi	150
Şekil 4.15. ROC eğrisi kullanılarak veri seti A, veri seti B ve veri seti C'nin eşleşme performanslarının VeriFinger-SDK (a) ve SourceAFIS (b) kullanılarak değerlendirilmesi.....	158
Şekil 4.16. MALFIS'i oluşturan modüllerin iletişimi.....	160
Şekil 4.17. Tespit/toplama/geliştirme modülü akış diyagramı	161

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. İyileştirme modülü akış diyagramı	162
Şekil 4.19. Özellik çıkarım modülü akış diyagramı	163
Şekil 4.20. Eşleştirme modülü akış diyagramı.....	164
Şekil 4.21. Kontrol modülü akış diyagramı	166
Şekil 4.22. Karar modülü akış diyagramı	167



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar	Açıklamalar
ACE-V	Analysis, Comparison, Evaluation, and Verification (Analiz, Karşılaştırma, Değerlendirme ve Doğrulama)
AFIS	Automated Fingerprint Identification System (Otomatik Parmak izi Tanıma Sistemi)
ALS	Alternate Light Source (Alternatif Işık Kaynağı)
CER	Crossover Error Rate (Çapraz Hata Oranı)
CLAHE	Contrast-limited adaptive histogram equalization (Kontrast sınırlı uyarlanabilir histogram eşitleme)
cm	Santimetre
DET	Detection Error Tradeoff (Tespit Hatası Ödünleşimi)
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
dpi	Dots per Inch (İnç başına nokta sayısı)
EER	Equal Error Rate (Eş Hata Oranı)
FAR	False Acceptance Rate (Yanlış Kabul Oranı)
FA	False Accepted (Yanlış Kabul Edilen)
FBI	Federal Bureau of Investigation (Federal Soruşturma Bürosu)
FNMR	False Non Match Rate
FRM	False Match Rate (Yanlış Eşleşme Oranı)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

FRR	False Rejection Rate (Yanlış Reddedilme Oranı)
FR	False Rejected (Yanlış Reddedilen)
GAR	Genuine Accept Rate (Gerçek Kabul Oranı)
Gb	Gigabyte
IR	Infrared
LED	Light-Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
MAFIS	Mobile Automated Fingerprint Identification System (Mobil Otomatik Parmak izi Tanıma Sistemi)
MALFIS	Mobile Automated Latent Fingerprint Identification System (Mobil Otomatik Latent Parmak izi Tanıma Sistemi)
MP	Megapixel
NCIC	National Crime Information Center (Ulusal Suç Bilgi Merkezi)
nm	Nanometre
OKT	Optik Koherens Tomografi
ppi	Pixels Per Inch (İnç Başına Piksel)
RAM	Random Access Memory (Rasgele Erişim Belleği)
RME	Relative Measuring Error (Bağıl Ölçüm Hatası)
ROC	Receiver Operating Characteristic (Alıcı İşlem Karakteristiği)
ROI	Region of Interest (İlgili bölge)
RTFI	Reflection-Based Touchless Finger Imaging (Yansıma Tabanlı Temassız Parmak Görüntüleme)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

RUVIS	Reflective Ultra Violet Imaging Systems (Yansıtıcı Ultraviyole Görüntüleme Sistemleri)
SDK	Software Development Kit (Yazılım Geliştirme Kiti)
SPR	Small Particle Reagent (Küçük Partikül Reaktifi)
STFT	Short-time Fourier Transform (Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü)
TA	True Accepted (Doğru Kabul Edilen)
TR	True Rejected (Yanlış Kabul Edilen)
TTFI	Transmission-Based Touchless Finger Imaging (İletim Tabanlı Temassız Parmak izi Görüntüleme)
UV	Ultraviyole

1. GİRİŞ

Biyometri; teşhis etme, teyit etme, tasdik etme ve yetkilendirme eylemlerini gerçekleştirebilmek amacıyla, bireye özgü benzersiz biyolojik özelliklerden çıkartılan karakteristik bilginin ölçümünü kullanan bilimdir. Söz konusu güvenilirlik düzeyi yüksek platformların tasarımı olduğunda, sadece bilgi tabanlı ölçümlerle sağlanmış bir korunmanın yetersiz oluşundan dolayı, birçok farklı uygulama alanı için biyometrik tanımlama/doğrulama mekanizmaları vazgeçilmez olarak görülmektedir. Kullanımı bir dönem belirli uygulamalarla sınırlı kalsa da, günümüzün modern dünyasında biyometri, bireyi doğru bir şekilde tanımlayabilme yeteneği sayesinde, dünya genelinde büyük önem kazanmış ve kabul görmüştür.

Yeni nesil biyometrik teknolojilerin günümüzde geldiği nokta, bilim kurgu filmlerinde gösterilenlerin ötesine geçmiş durumdadır. Bu teknolojilerin kullandığı “daha fazla mahremiyet ve daha az güvenlik tehdidi” sloganı, bir paradigma kaymasına sebep olmuştur ve geleneksel yöntemlere bağlı kalınmak yerine giderek daha fazla biyometri temelli entegre çözümler tercih edilmeye başlanmıştır. Özellikle [1, 2]:

- Ulusal güvenlikle ilgili endişeleri arttıran terörizm ve/veya suç içerikli faaliyetlerin çoğalması,
- Sınır kontrolü, göçmen faaliyetleri vb. gibi insan hareketinin kontrolsüz ve önü alınamayan bir biçimde gerçekleştirilmesi,
- Tüketici elektroniğinin yaygın kullanımı ile artan veri hırsızlığı ve ihlal faaliyetleri,
- Bankacılık ve finans uygulamalarına yapılan saldırılar ve bu sistemlerin savunma mekanizmalarının saldırılar karşısında yetersiz kalabilmesi,
- Sağlık hizmetleri, iç güvenlik, vatandaşlık hizmetleri gibi alanlarda sunulan hizmet ortamlarına gerçekleştirilen saldırılar ve
- Enerji, su, savunma, ulaştırma, vb. kritik altyapıların ve diğer kamu kurumların erişim kontrol mekanizmalarına gerçekleştirilen saldırılardaki artışlar

gibi farklı tehdit senaryoları biyometri temelli güvenlik çözümlerine olan ilginin artmasına zemin oluşturmuştur.

Biyometrik teknolojilerdeki muazzam ilerleme ve görüntü işleme kapasitesindeki son gelişmeler, bireylerin kişisel kimlik doğrulama uygulamalarına taleplerini artırmış, bu doğrultuda biyometrik tanımlama/doğrulama mekanizmaları sivil, kolluk kuvvetleri ve adli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [3, 4]. Adli bilimler ve biyometri, özellikle parmak izi tanıma söz konusu olduğunda, yüzyılı aşkın süredir birbirleriyle yakından bağlantılıdır. Tüm biyometrik modaliteler hesaba katılarak, adli bilimler ve parmak izinin geriye dönük bu ilişkisi, parmak izinin diğer biyometrik karakteristiklere göre üstünlük kazanmasını sağlamıştır ve parmak izi kullanımı diğer biyolojik özelliklere açık ara fark atarak en popüler biyometrik modalite haline gelmiştir. Bu popüleritenin de etkisiyle, tez çalışması kapsamında parmak izine dayalı iki farklı kullanım alanına sahip biyometrik sistem (MAFIS ve MAFIS) tasarlanmış ve sunulmuştur.

Parmak izi tabanlı biyometrik sistemler farklı uygulama alanları için özelleşmiş tasarımlara sahip olabilmektedir. Fakat daha genel bir değerlendirme yapılmak istenirse, bu sistemler kaynağı bilinen parmak izlerini kullanarak tanımlama/doğrulama işlemini gerçekleştirenler ve kaynağı bilinmeyen parmak izlerini kullanarak tanımlama işlemini gerçekleştirenler olmak üzere iki ana başlık altında incelenir. Bu kategorizasyon, sistemin hangi veri edinim yöntemi ile birlikte çalıştığı ile alakalı bilgi vermektedir.

Kaynağı bilinen parmak izleri, parmak izi yakalamak üzerine tasarlanmış bir ekipman ile doğrudan bireyin kendisinden toplanan parmak izlerini tanımlamak için kullanılan bir ifadedir ve literatürde “bilinen baskı (known impression) veya bilinen örnek (exemplar)” olarak adlandırılmıştır. Bu parmak izlerinin en temel özelliği, kontrollü ve istenilirse tekrarlanabilecek bir veri edinim süreci ile parmak izinin yakalanmasından dolayı belirli bir standartta toplandığı için, iyi bir görüntü kalitesine sahip olmasıdır. Veri edinim sürecinin kontrollü ve tekrarlanabilir olması sebebiyle, toplanan parmak izleri bireyin tanımlayabilmek için yeterli niteliğe sahiptir. Bu sayede, kaynağı bilinen parmak izleri manuel bir müdahaleye gerek kalmadan, otomatik tanımlama/doğrulama sistemleri üzerinde kullanılabilir. Tez çalışması kapsamında önerilen ilk sistem MAFIS (mobile automated fingerprint identification system-mobil otomatik parmak izi tanıma sistemi), kaynağı bilinen parmak izlerini kullanarak tanımlama/doğrulama yapabilecek şekilde geliştirilmiştir.

Kaynağı bilinmeyen parmak izleri tanımlama sistemlerini en çok zorlayan veri grubudur. Çünkü bu izler bireyin kendisinden değil temas ettiği bir ortam/yüzey/nesne vb. üzerinden toplanmaktadır, parmak izi toplama süreci kontrollü değildir ve olası bir hatanın gözlemlenmesi ihtimaline karşın veri edinim süreci tekrarlanamaz. Bu sebeple toplanan parmak izinin barındırdığı karakteristikler ile yetinilmek zorunda kalınmaktadır. Tüm bu olumsuz veri edinim koşullarına altında, toplanan parmak izlerinden bireyi tanımlayabilecek karakteristik verinin çıkartılması gerekmektedir. Kaynağı bilinmeyen parmak izleri önce manuel müdahalelerle geliştirilmekte ve sonrasında tanımlama sisteminde kullanılabilir. Kaynağı bilinmeyen parmak izleri literatürde “iz (trace), işaret (mark), latent (görünmez), bilinmeyen (unknown)” olarak adlandırılmıştır. Tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde kaynağı bilinmeyen parmak izleri ifadesi yerine bahsi geçen bu tanımlamalar kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında önerilen ikinci sistem MALFIS (mobile latent fingerprint identification system-mobil görünmez parmak izi tanıma sistemi), kaynağı bilinen parmak izlerini kullanarak tanımlama yapabilecek şekilde geliştirilmiştir.

Tez çalışmasının amacı

İlk kategoride yer alan ve kaynağı bilinen parmak izini kullanarak tanımlama/doğrulama gerçekleştiren biyometrik sistemlerin çalışma mekanizmasını anlayabilmek için, bu sistemlerde kullanılan veri edinim yöntemleri, toplanan verinin tanımlama/doğrulama kullanılabilir olması adına gerçekleştirilen tüm işlem basamakları, bu sistemlerin tasarım/kurulum/kullanım/bakım/onarım gereksinimleri üzerine yapılan incelemelerde, aşağıda maddeler halinde özetlenen sonuçlar çıkartılmıştır:

- Bu sistemler kişilerin/kurumların erişim kontrolü ve yetkilendirme gibi taleplerini karşılamak üzere, daha çok ticari uygulamalar için geliştirilmiştir. Kişinin parmak izi önce sisteme tanıtılır, sonrasında ise sisteme yapılan isteklerde kişinin daha önce kayıtlı olup olmadığına bakılarak kişinin isteğine karşılık verilir.
- Bu sistemler, bir veri edinim düzeneği, bu düzeneğe toplanan parmak izinin sistem tarafından kullanılabilir hale getirilmesi için tasarlanan görüntü işleme ve değerlendirme süreci, işlenen parmak izinin kayıt altına alındığı bir veri tabanı ve kullanıcı ile sistemin iletişimi sağlayan, istemci-sunucu mimarisi ile geliştirilen bir haberleşme altyapısından oluşmaktadır.

- Veri edinim aşamasında, kontrollü bir ortamda özel bir veri edinim düzeneği kullanılarak, bireyin gönüllü katılımı ile doğrudan kendisinden parmak izi toplanmaktadır. Veri edinim düzeneğinin tasarımsal özellikleri, parmak izinin toplanması için kullanılan teknik ve yöntemlere göre çeşitlenebilmektedir.
- Görüntü işleme sürecinde, tanımlama/doğrulamada kullanılacak karakteristiklerin belirlenmesi için, veri edinim düzeneği ile toplanan parmak izi bir dizi işleme tabi tutulur. Görüntü işleme sürecinde yazılım destekli prosedürler çalıştırılarak toplanan veri anlamlı hale getirilir. Sonrasında sistemde kayıtlı olan parmak izi ile kontrol edilmek üzere toplanan parmak izi arasında benzerlik değerlendirmesi yapılarak bir sonuç elde edilir. Sistemin ürettiği bu sonuç istemci-sunucu haberleşmesi ile son kullanıcıya iletilir.
- Bu sistemler kurulum gerektirmektedir. Veri edinim aşamasında kullanılan veri toplama düzenekleri için donanımsal kurulumlara, toplanan parmak izinin merkez sunuculara iletilmesi için kullanılan cihazlarda ise yazılımsal kurulumlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Bu sistemlerin bakım ve onarım ihtiyaçları bulunmaktadır. Özellikle yoğun kullanıma maruz kalan veri edinim düzenekleri zamanla işlevini yerine getirememektedir. Bu sebeple belirli zaman aralıklarında sistem sağlayıcılar tarafından bakım ve onarım işlemleri gerçekleştirilmelidir.
- Bu sistemler taşınabilir değildir. Aslında bu durum biyometrik sistemlerin en büyük kısıtlarından biri olarak görülmektedir. Sabit kurulum gerektiren mekanizmalara sahip olan biyometrik sistemler farklı ortamlara ancak sistem sağlayıcılar tarafından taşınabilmektedir, bu da maliyetli bir süreçtir.
- Bu sistemlerde kullanılan yöntemler, teknolojiler, ekipmanlar ve bunların bakım-onarım süreçleri maliyetlidir.
- Teknolojinin hızla gelişimi ve bununla birlikte saldırı sistemlerinin de kendini aynı hızla geliştirmesi sebebiyle, bugün güvenli olarak görülen cihazlar, ekipmanlar ve yazılımlar yarın zafiyet gösteren bir bileşene dönüşebilir. Bu sebeple, biyometrik sistemlerde kullanılan bileşenlerin mevcut teknolojiler kullanılarak güncellenmesi ve/veya zaman içinde yenilenmesi gerekebilmektedir.



Şekil 1.1. Tanımlama/doğrulama için geliştirilen biyometrik sistemlerde dikkat edilmesi gereken hususlar

Kaynağı bilinen parmak izlerini kullanarak tanımlama/doğrulama işlemini gerçekleştiren biyometrik sistemlerin kullanılabilirliğini ve tercih edilebilirliğini arttırmak için, Şekil 1.1’de belirtilen hususlar doğrultusunda bir değerlendirilme yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirme sonucunda, bahsi geçen hususlara ve onları oluşturan süreçlere doğrudan veya dolaylı yoldan etki edebilen, bu süreçleri farklı bakış açıları kullanarak iyileştirebilen/hızlandırabilen/kolaylaştırabilen yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerektiği görülmüştür. Bu kapsamda:

- Düşük maliyetli ekipman ve teknoloji gereksinimlerine sahip bir sistem geliştirmek,
- Akıllı telefonlardaki yüksek işlevsellik, pratik kullanım ve kabiliyet artışı gibi avantajlardan faydalanabilmek için, akıllı telefon-biyometrik sistem entegrasyonunu sağlamak,
- Parmak izi toplanmasını ve aktarılmasını kolaylaştırmak,
- Biyometrik sistemlere taşınabilirlik özelliği kazandırmak ve
- Mevcut veri edinim yöntemlerinin eksikliklerini giderebilen alternatif bir veri toplama modeli önermek

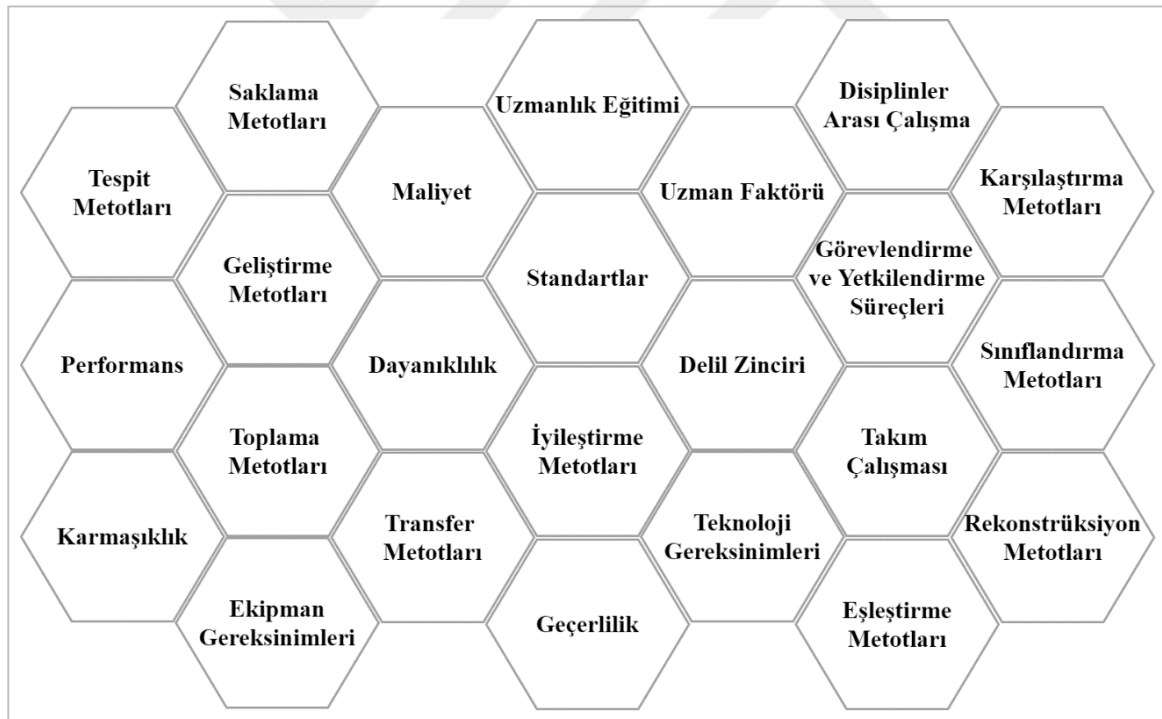
tez çalışmasında sunulan ve ilk sistem olan MAFIS’in geliştirilme amaçlarını oluşturmaktadır.

İkinci kategoride yer alan ve kaynağı bilinmeyen parmak izlerini kullanarak tanımlama yapabilen biyometrik sistemler daha spesifik uygulama alanları için tasarlanmıştır. Bir parmak izinin kime ait olduğunun tespiti adli bilimlerin uzmanlık alanıdır. Kaynağı bilinmeyen parmak izlerinin kullanılabilirliğinin önündeki en büyük handikaplar, bu izlerin tespit edilmesi ve geliştirilmesi aşamalarında birçok gereksinime ve hem geliştirme hem karşılaştırma süreçlerinde çok fazla manuel müdahaleye ihtiyaç duyulmasıdır. Kaynağı bilinmeyen bir parmak izini toplayabilmek için geliştirilmiş veri edinim yöntemleri, bu izlerden anlamlı bilgi çıkarımı yaparak bir sonuca varmayı hedefleyen sistemler ve tüm bu karmaşık süreci yönetmekten sorumlu insan faktörü üzerine yapılan incelemelerde, aşağıda maddeler halinde özetlenen sonuçlar çıkartılmıştır:

- Bu kategoride değerlendirilen sistemler adli inceleme sonucu tespit edilmiş kaynağı bilinmeyen bir parmak izinin belirli bir sabıka kaydıyla ilişkilendirmek ve kimliğini belirlemek için kullanılmaktadır.
- Suç mahallinde yapılan inceleme üç fazdan oluşmaktadır:
 - a. Bilgi edinme fazı; kaynağı bilinmeyen parmak izlerinin tespit edilmesi, geliştirilmesi, detaylı analiz yapılabilmesi için başka bir yere aktarılması, delil olarak saklanması süreçlerini içerir.
 - b. Teknik değerlendirme fazı; toplanan parmak izinin kimlik tespitinde kullanılabilir hale gelmesi için gerekli süreçlerin tamamını içerir.
 - c. Alan uzmanı faaliyetleri fazı ise; bilgi edinme ve teknik değerlendirme fazlarında insan müdahalesi gereken süreçleri içermektedir.
- Kaynağı bilinmeyen parmak izlerini tespit edebilmek için tecrübeli uzmanlara, ileri düzey ekipmanlara, farklı yöntemlere/metotlara/tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple, bahsi geçen parmak izlerini görünür hale getirme, iyileştirme ve tanıma/doğrulama maliyetli ve uzun zaman alan işlemlerdir. Bu işlemleri gerçekleştiren uygulamaların ve sistemlerin kullanımı profesyonellik, geliştirilmesi yüksek maliyet ve uygulanabilirliği uzun zaman alan prosedürler gerektirir.
- Kaynağı bilinmeyen parmak izinin görünür hale getirilmesi, geliştirilmesi, aktarılması, iyileştirilmesi, eşleştirilmesi ve saklanması aşamalarında kullanılan tüm yöntemlerin, teknolojilerin ve insan müdahalelerinin parmak izinin örüntüsüne ve tekilliğine etki etmemesi ve bunların hukuki açıdan kabul edilebilir olması gerekmektedir.
- Kaynağı bilinmeyen parmak izinin kullanıldığı sistemler yarı otomatik özellikteki sistemlerdir. Başka bir deyişle, bu sistemler doğru çalışabilmek için belirli basamaklarda

yönlendirilmeye, dolayısıyla dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duyarlar. Zaten bu sistemlerin kullandığı parmak izlerini toplamak için kullanılan veri edinim yöntemleri oldukça karmaşık işlem basamakları içermektedir. Buna ek olarak, bu sistemlerin karşılaştırma yapabilmek için kullandığı giriş verisinin de manuel olarak geliştirilme veya iyileştirilme ihtiyacı vardır. Bu durumda, karar mercii olarak alan uzmanı hem veri edinim yönteminin gerçekleştirilmesi hem sistem yönlendirilmesi için birçok işlem adımıyla faaliyet göstermektedir.

- Kaynağı bilinmeyen parmak izi ile kolluk kuvvetlerinin sahip olduğu veri tabanlarındaki kayıtlı örnekler bu sistemler kullanılarak karşılaştırıldığında, bir başka uzman değerlendirilmesi gerektiren durum ortaya çıkmaktadır. Karşılaştırma sonucunda sadece tek parmak izi eşleşebilir ya da eşleşme olasılığı olan örnek listesi karşılaştırma sonucunun çıktısı olabilir. Bu durumda da alan uzmanı olası eşleşen örneklerin teker teker değerlendirilmesini yapmakla yükümlüdür.



Şekil 1.2. Parmak izinin adli açıdan incelenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar

Görüldüğü üzere, kaynağı bilinmeyen parmak izleri kullanılarak gerçekleştirilen kimlik tespitinde hem parmak izi tespit, geliştirme, iyileştirme, karşılaştırma aşamasında uzman müdahalesine ihtiyaç duyulan birçok işlem basamağı hem tam anlamı ile otomatikleştirilememiş manuel müdahalelere ihtiyaç duyan sistemlerin kullanılması iki

önemli handikaptır. Bahsi geçen handikaplarla birlikte, Şekil 1.2’de yer alan hususlar da dikkate alınarak:

- Adli analiz sürecinde kaynağı bilinmeyen parmak izlerinin güvenilir, doğru ve derinlemesine incelenmesini sağlamak,
- Kaynağı bilinmeyen parmak izlerinin tespiti, toplanması, geliştirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik gerçekleştirilen prosedürlerin kalitesini en üst düzeye çıkarmak,
- Toplanan adli verilerin doğrulanmasını sağlamak için sistematik bir yaklaşım önermek,
- Daha tutarlı bir parmak izi tanımlama metodolojisini geliştirmek, böylece daha doğrulanabilir sonuçların üretilmesini sağlamak,
- Suç mahalli ile kolluk kuvvetlerinin merkezi inceleme birimi arasında geçerli delil transferini kolaylaştırmak ve
- Kaynağı bilinmeyen parmak izinin tespiti, kurtarılması, geliştirilmesi, iyileştirilmesi, aktarılması ve kaydedilmesi için standartlar, ilkeler ve yaklaşımlardan oluşan bir çerçeve oluşturmak

tez çalışmasında sunulan ikinci sistem MAFIS’in geliştirilme amaçlarını oluşturmaktadır.

Tez çalışmasının katkıları

Şekil 1.1’de yer alan hususlar da dikkate alınarak MAFIS’in literatüre katkısı aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

1. Temaslı veri edinim yöntemlerinin çalışma mekanizmasından kaynaklanan parmak izi deformasyonu problemini ortadan kaldırabilecek yeni bir temassız parmak izi algılama ve geliştirme prosedürü geliştirilmiştir.
2. Biyometrik sistemlerde kullanılan veri edinim yöntemlerinin handikabı olan yüksek maliyetli, taşınabilir özelliğe sahip olmayan ve özel kurulum gerektiren veri toplama düzeneklerine alternatif olabilecek düşük maliyetli, kompakt, taşınabilir ve kullanımı uzmanlık gerektirmeyen temassız bir parmak izi toplama yöntemi geliştirilmiştir.
3. Bireyin canlı olma halini gerektiren veri edinim yöntemlerinin kullanılmadığı senaryolarda (kadavra, vücut parçalarından parmak izi toplama vb.) kullanılabilecek bir veri edinim yöntemi sunulmuştur.

4. Temaslı edinim yöntemlerinin içsel problemlerinden biri olan hijyenik olamama durumunu ortadan kaldıran bir veri toplama biçimi önerilmiştir.
5. Temaslı edinim yöntemlerinde kullanılan cihazlarda bir önceki kullanıcıdan kalan iz kalıntılarının oluşturduğu gürültüyü ortadan kaldıracak bir veri toplama yöntemi geliştirilmiştir.
6. Tek bir sistem kullanılarak veri toplama, toplanan veriyi sunuculara gönderme, veriyi detaylı inceleme için kayıt altına alabilme, veri ile alakalı analiz sonuçlarını anında erişebilme yeteneklerini bir araya getirebilecek bir model sunulmuştur.
7. Yüksek maliyetli ve hareket kabiliyeti sınırlı biyometrik sistemler yerine, akıllı telefonların yüksek çözünürlüklü görüntüleme özelliği, taşınabilirlik, kullanım kolaylığı, düşük maliyet, yüksek işlem gücü ve kolay veri aktarımı gibi özellikleri kullanılarak biyometrik sistemlere mobilite özelliği eklenmiş, bu sistemlerin kullanılabilirliğine ve buna bağlı olarak tercih edilebilirliğine katkıda bulunulmuştur.

Şekil 1.2’de yer alan hususlar da dikkate alınarak Malfis’in literatüre katkısı aşağıdaki maddeler halinde özetlenmiştir:

1. Latent parmak izini fiziksel ve kimyasal geliştirme yöntemleri kullanmadan, temassız ve tahribatsız tespit eden, geliştiren ve toplayan bir veri edinim prosedürü tasarlanmıştır.
2. Suç mahalli değerlendirmesinde insan faktörünün parmak izinin tespitindeki, geliştirilmesindeki ve toplanmasındaki etkisini azaltan bir sistem geliştirilmiştir.
3. Olay yerinin güvenilir ve detaylı bir şekilde incelenmesi ve kaydedilmesi için bir sistem geliştirilmiştir.
4. Parmak izi tespit etme, toplama ve kurtarma prosedürlerinin performansını arttıran bir yaklaşım sunulmuştur.
5. Latent parmak izlerini tespit etme, toplama, saklama, aktarma ve analiz etme işlemlerini tek bir merkezden sürdüren ve yöneten bir sistem geliştirilmiştir.
6. Suç mahallinde toplanan parmak izinin yine suç mahallinde (analiz için harici bir yere taşınmadan) değerlendirilmesine imkân sunan bir sistem geliştirilmiştir. Başka bir deyişle, parmak izi suç mahallinde değerlendirilebilmesi için taşınabilir bir sistem sunulmuştur.
7. Düşük karmaşıklık ve yüksek işlevsellik ile çalışan, parmak izlerini hızlı ve pratik bir şekilde toplayan ve işleyen bir yöntem ve sistem geliştirilmiştir.

8. Maliyetli ve zaman alıcı parmak izi tespit ve geliştirme adımlarının yükünü azaltan bir yaklaşım sunulmuştur.
9. Latent parmak izlerindeki biyolojik kalıntılarının (DNA, kan vb.) yapısına zarar vermeden parmak izini tespit eden, geliştiren ve toplayan bir veri edinim prosedürü geliştirilmiştir.
10. Olay yerinde çalışan alan uzmanının veya kullanılan geliştirme tekniklerinin neden olduğu hataları azaltmak için alternatif bir parmak izi tespit, geliştirme ve toplama yöntemi sunulmuştur.
11. Olay yeri incelemesinde kullanılabilecek taşınabilir ve kompakt bir biyometrik sistem önerilmiştir.

Tez çalışmasının literatüre sunmuş olduğu diğer katkılar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

1. Ülkemizde kaynağı bilinmeyen parmak izleri üzerine yapılan çalışmaların genellikle adli bilimler ve hukuk alanında olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında suç mahalli değerlendirme süreci ilk defa bilgisayar bilimleri perspektifinden incelenmiştir.
2. Kaynağı bilinen ve bilinmeyen parmak izlerini kullanan biyometrik sistemler günümüz teknolojisine ait birçok bileşen kullanılarak daha düşük maliyetle geliştirilebilmektedir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS ve MALFIS bunun ispatıdır.
3. MAFIS ve MALFIS, tasarımında akıllı telefon kullanılması sebebiyle, taşınabilir özelliğe sahip biyometrik sistemler olup bu sayede mevcut biyometrik tanımlama/doğrulama sistemlerine entegre edilebilecek şekilde tasarlanabildiği için tercih edilebilirlikleri yüksektir.

Tez çalışmasının organizasyonu

Tez çalışması, bahsi geçen bu tespitler göz önünde bulundurularak organize edilmiş ve çalışmada önerilen sistemler de bu kapsamda geliştirilmiştir. Sonuç olarak, kaynağı bilinmeyen parmak izlerinin bilgisayar bilimleri alanında incelendiği çalışmaların ülkemizdeki eksikliğinden yola çıkılarak da bu tez çalışması sunulmuştur.

Bu tez, Giriş Bölümü'nü izleyen dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde; parmak izinin biyometrik bir özellik olarak değerlendirilmesi, parmak izinin sınıflandırılması, adli bilimler

ve parmak izinin ilişkisi, delil niteliğindeki parmak izinin incelenmesi ve adli parmak izlerinin kişileştirilmesinde insan faktörünün etkisi ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde; önerilen ilk sistem olan ve kaynağı bilinen parmak izleri ile çalışan MAFIS anlatılmıştır. MAFIS'i oluşturan prosedürlerin tasarlanması için literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda tasarlanan MAFIS tez çalışması kapsamında önerilen karşılaştırma protokolü kullanılarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar bu bölümde paylaşılmıştır.

Dördüncü bölümde; önerilen ikinci sistem olan ve kaynağı bilinmeyen parmak izleri ile çalışan MALFIS anlatılmıştır. MALFIS'i oluşturan prosedürlerin tasarlanması için literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda tasarlanan MALFIS tez çalışması kapsamında önerilen karşılaştırma protokolü kullanılarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar bu bölümde paylaşılmıştır.

Son olarak beşinci bölümde ise; yapılan tüm çalışmalar özetlenmiş, sonuçlar sunulmuş, yorumlanmış ve gelecek çalışmalar hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu tez kapsamında incelenen ve yapılan çalışmalarda kullanılan biyometrik veriler, Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu'nun 09.10.2018 tarih ve 77082166-604.01.02 sayılı kararı kapsamında toplanmıştır.

2. PARMAK İZİ BİYOMETRİSİ

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında önerilen sistemlerin (MAFIS ve MALFIS) çalışma mekanizmalarını ve parmak izi karakteristiğinin kullanıldığı tanımlama/doğrulama sistemlerini daha iyi anlayabilmek adına, parmak izi biyometriği hakkında temel bilgiler aşağıdaki alt başlıklar üzerinden açıklanmıştır.

2.1. Parmak İzi Kalıpları ve Karakteristikleri

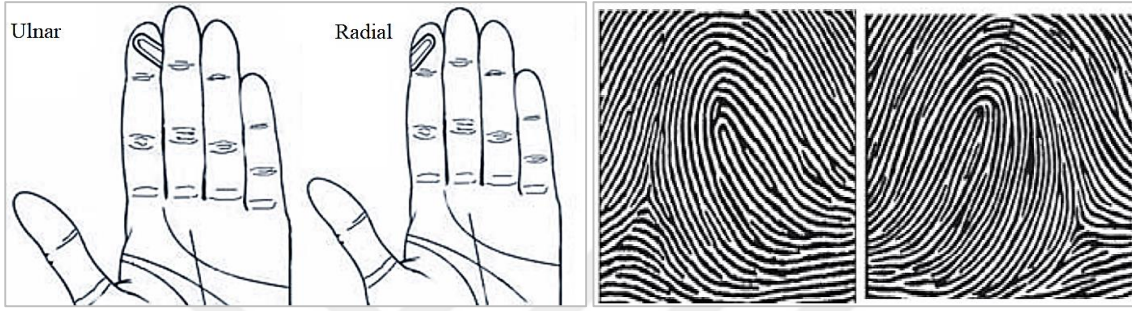
Parmak izi en genel tanımıyla bir seri koyu çizgi (yükselti, hat ya da sırt) ve bu koyu çizgiler arasında kalan açık renkli bölgelerden (çukur ya da vadi) oluşmaktadır. Parmak izini oluşturan hat çizgileri bireyin genetik faktörüne bağlı olarak çeşitlenmektedir ve bu çeşitlenmeyle oluşan her varyasyon rastgele modeller değildir. Bu sebeple iki parmak izinin tamamen aynı olması neredeyse imkânsızdır. Parmak izi varyasyonlarını anlamlandırabilmek ve sınıflandırabilmek için, parmak izini oluşturan bileşenler değerlendirilmiştir. Parmak izinin örüntüsünü analiz edebilmek adına belirlenmiş üç temel seviye karakteristikler bu bölümde özetlenmiştir [5].

2.1.1. Global özelliklerin belirlenmesi (Seviye-1 karakteristikleri)

Parmak izine ait global özellikler, sırt çizgilerinin oluşturduğu ve ilk bakışta kolayca tespit edilebilen temel özelliklerdir. Parmak izi sırt çizgilerinin akış yönü (orientation field) ve sıklığı (ridge frequency) ile bu yön çizgilerinin oluşturduğu tekil noktalar global veya Seviye-1 özellik olarak adlandırılır [6].

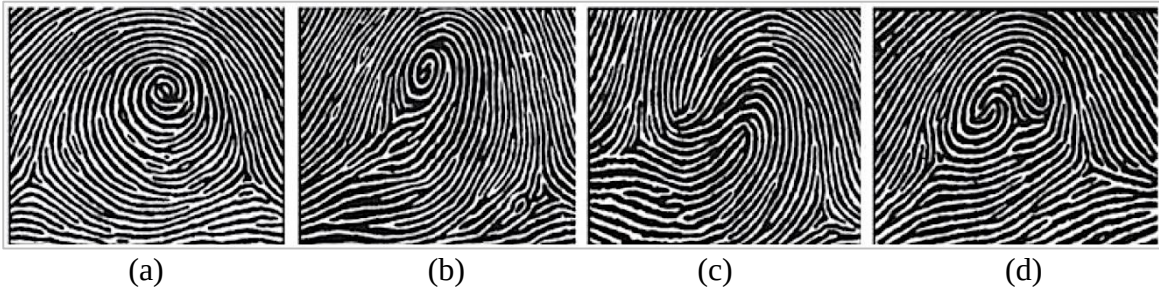
Parmak izine ait tekil noktalar ark (arch), helezon (whorl) ve döngü (loop) olarak adlandırılmıştır ve bu tekil noktaların kendi alt kategorileri vardır. Parmak izlerindeki döngü kalıbı, parmak uçlarında bulunan en yaygın modeldir ve bu nedenle döngü modelinin oldukça geleneksel, normal bir insan tipini gösterdiği ifade edilebilir. Döngü modeli kendi içerisinde ulnar ve radyal (sol ve sağ döngü) olmak üzere ikiye ayrılır. Bu döngüler isimlerini ön kol iskeletindeki birbirine paralel iki uzun kemikten almıştır. Bu kemiklerden başparmak tarafında kalan kemiğin ismi döner kemik (radius), küçük parmak hizasında kalan kemiğin ismi ise dirsek kemiği (ulna) olarak adlandırılmıştır [7].

Helezon (whorl) yapıya sahip parmak izi, girdabı andıran dairesel bir yapı veya sarmal şekiller olarak ifade edilir. Helezonik parmak izi kendi içinde dört sınıfa ayrılmaktadır. Basit helezonik parmak izinde (plain whorl); bir sırt çizgisi dairesel biçimde şekillenerek içe doğru sarmal bir yapı oluştururken bu sarmal yapıya iki delta eşlik eder. Bu iki deltanın görünmez bir çizgi ile birleştiği düşünülürse, içerideki sırt çizgisinin tam turunu tamamlamış dairelerinden en az birine dokunduğu veya birini kestiği görülmektedir [7, 8].



Şekil 2.1. Parmak izindeki ulnar ve radial döngüler [7, 9]

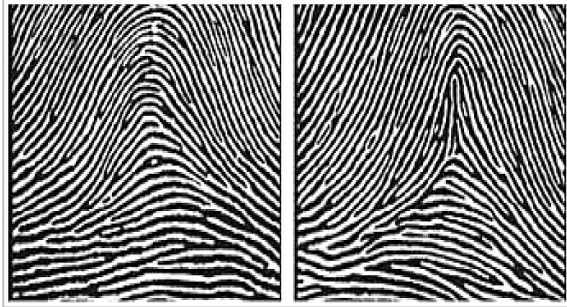
Merkezi cep döngüsüne sahip helezonik parmak izinde (central pocket loop whorl); basit helezonik parmak izindeki durumun aksine en içteki örüntü alan içinde, iki delta arasına çizilen sanal çizgi çember oluşturan sırt çizgisini kesmemektedir. Çünkü bu tip parmak izinde deltalardan biri içerideki sarmal yapıya yakın olmaktadır veya sarmal yapının küçük olması sebebiyle deltaları birleştiren görünmez çizgi ile bu yapı kesişmemektedir [7, 8].



Şekil 2.2. Basit helezonik parmak izi (a), merkezi cep döngüsüne sahip helezonik parmak izi (b), çift döngülü helezonik parmak izi (c), rastlantısal helezonik parmak izi (d) [7]

Çift döngülü helezonik parmak izlerinde; iki bağımsız dairesel oluşum, iki farklı omuz ve delta yapıları bulunmaktadır. “S” tipi ve “Kilitli (Interlocking)” tip olarak ifade edilen helezonik parmak izleri çift döngü olarak kabul edilmez, bu yapılar düz helezonik parmak izi olarak sınıflandırılır. Rastlantısal helezonik parmak izi ise en az iki deltaya sahip iki farklı

desen türünden veya tanımların hiçbirine uygun olmayan iki farklı desenden oluşmaktadır [7, 8].

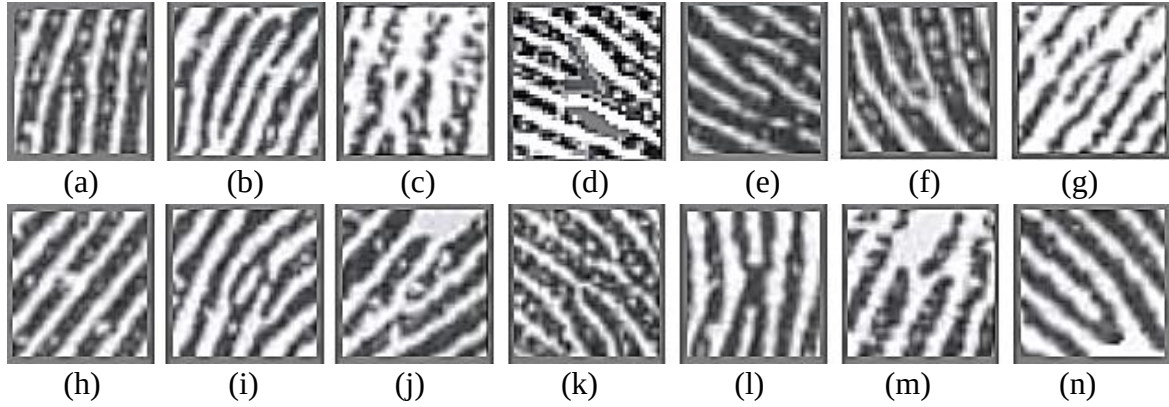


Şekil 2.3. Basit ark ve t-tipi ark parmak izleri [7]

Ark parmak izi; sırt çizgilerinin parmağın bir yanından yükselmesi ile başlar, bu çizgiler parmağın orta kısmında kemer şeklinde kıvrılır ve parmağın sonunda alçalarak son bulur. Bu tip parmak izlerinde delta, döngü, helezon gibi şekiller bulunmamaktadır. Ark tipi parmak izi basit ark ve T tip ark olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.1.2. Lokal özelliklerin belirlenmesi (Seviye-2 karakteristikleri)

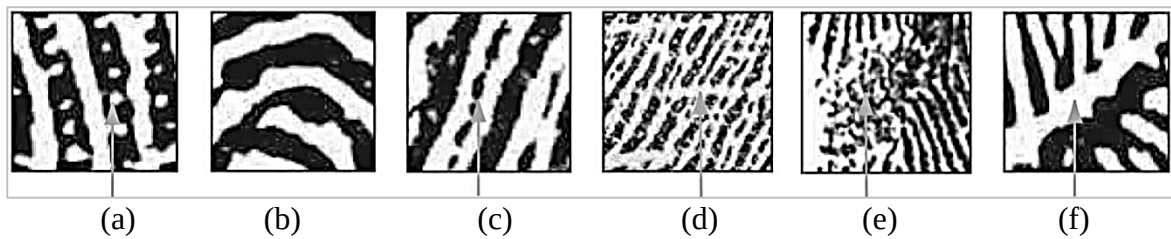
Parmak izinin Seviye-1 karakteristikleri iki parmak izi baskısının arasında bir eşleşme olup olmadığını belirlemek için yeterli değildir. Fakat bu karakteristikler parmak izlerini sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Benzerliği daha detaylı ölçebilmek adına belli sırt çizgilerinin özelliklerine bakılmalıdır. Seviye-2 özellikler sırt çizgilerinin bireysel akışından, birbirleri ile ilişkisinden, kesişiminden, birbirlerinin içinden akışından, sırt çizgilerinin bitişlerinden ve başlangıçlarından meydana gelir. Bu özellikler, ayrıntı noktaları (minutiae) veya Galton ayrıntıları olarak bilinir ve bireyselleştirici özellikler olarak kabul edilir [6, 10].



Şekil 2.4. Parmak izinin Galton ayrıntıları, çatallanma (bifurcation) (a), kısa sırt (short ridge) (b), ada (point, dot) (c), üçe çatallanma (trifurcation) (d), köprü (bridge) (e), kanca (spur, hook) (g), kopma (break) (h), göl (enclosure) (i), örtüşme (overlap) (j), kesişmeli kopan sırt (crossbar) (k), karşıt ikiye çatallanma (opposed bifurcation) (l), kesinti (dock) (m), geri dönüş (return) (n) [10]

2.1.3. Seviye-3 karakteristik özelliklerin belirlenmesi

Seviye-3 özellikler sırt çizgilerinin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu ayrıntı düzeyinin iki ana bileşeni vardır: belirli bir sırt çizgisinin veya sırt çizgisinin bir bölümünün boyutlarının incelendiği edgeoskopi ve sırt çizgileri içindeki gözeneklerin incelendiği poroskopi [10]. Genellikle parmak izinin Seviye-3 karakteristikleri, kısmi parmak izleri gibi kısıtlı veri kullanılarak kimlik tespiti yapılması gereken durumlarda kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Parmak izinin Seviye-3 karakteristikleri, gözenek (pore) (a), çizgi şekli (ridge shape) (b), yeni başlayan sırt (incipient ridge) (c), kırışıklık (creases) (d), yumru/siğil (warts) (e), yara (scars) (f) [11]

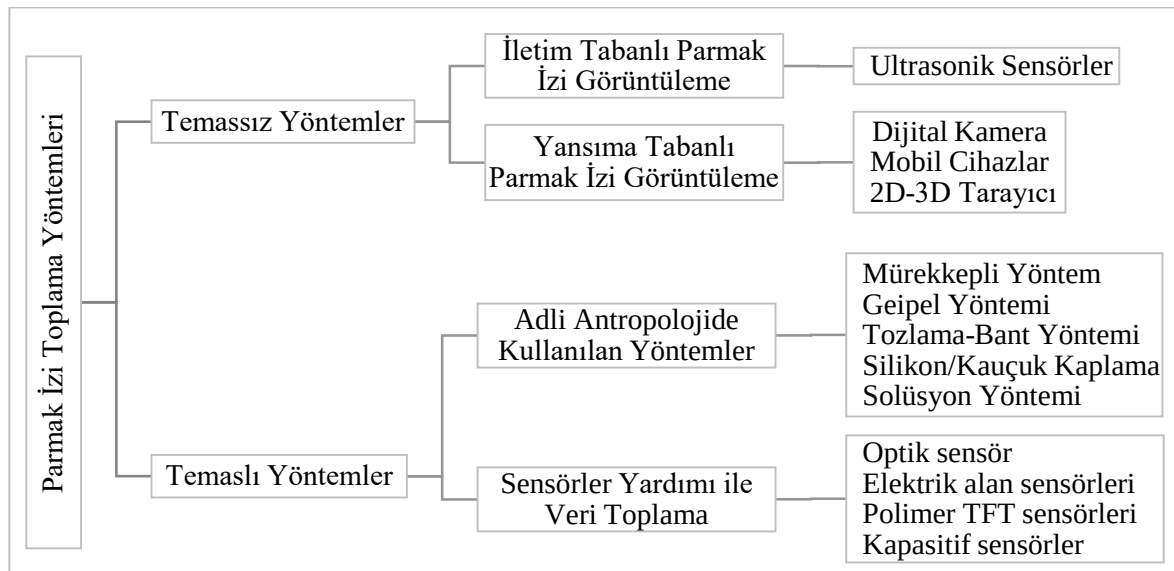
2.2. Parmak İzi Edinimi

Parmak izinin algılanabilmesi için, parmak yüzeyinde yer alan sırt ve vadi desenlerini belirginleştiren bir müdahale gereklidir. Parmak izi toplamada kullanılan teknik ve yöntemler, bu desenleri en iyi şekilde belirginleştirmek ve görüntülemek adına

gerçekleştirilir. Literatürde parmak izi baskılarının edinim yöntemleri baskının çeşidi, toplanma yöntemi, oluşum biçimi vb. unsurlar göz önünde bulundurularak farklı şekilde sınıflandırılmıştır [12-15]. En bilinen sınıflandırma yaklaşımları aşağıda verilmiştir:

- Çevrimiçi ve çevrimdışı parmak izi toplama
- Temaslı ve temassız parmak izi toplama
- Kaynağı bilinen ve bilinmeyen parmak izlerinin toplanması

Çevrimdışı parmak izi toplamanın genel prosedürü, bireyin parmak yüzeyindeki sırt-vadi desenlerinin belirginleştirmek için “mürekkep tekniği” adı verilen bir teknikle parmak yüzeyinin siyaha boyanması ve parmağın düz bir kâğıda doğrudan bastırılması ya da kâğıt üzerinde parmağın bir uçtan diğerine yuvarlanması olarak ifade edilir [16]. Geçmişte kolluk kuvvetlerinde parmak izi çevrimdışı yöntemle toplanırken, günümüzde parmak izleri çevrimiçi yöntemlerle parmak yüzeyinin doğrudan algılandığı elektronik cihazlar kullanılarak toplanmaktadır. Bu yöntemde harici bir uygulamayla sırt-vadi desenini belirginleştirmeden, sensör, tarayıcı vb. elektronik bir cihazla parmak izi örüntüsü dijital ortama aktarılmaktadır [16].



Şekil 2.6. Temaslı ve temassız parmak izi toplama yöntemleri

Genel olarak, parmak izi edinimi için kullanılan teknolojiler, temasa dayalı veri toplamayla ilgilenir. Temas, bireyin parmağı bir çekim yüzeyine bastırması veya yüzey üzerinde yuvarlanması gerektiği anlamına gelir, bu baskı parmak izinin basınç altında elastik yapısının

bozulmasından kaynaklanan deformasyona sebep olur. Bu sebeple, parmak izinin temassız olarak toplanabildiği yeni yöntemler geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan temaslı ve temassız parmak izi toplama yöntemleri Şekil 2.6’da gruplandırılarak gösterilmiştir.

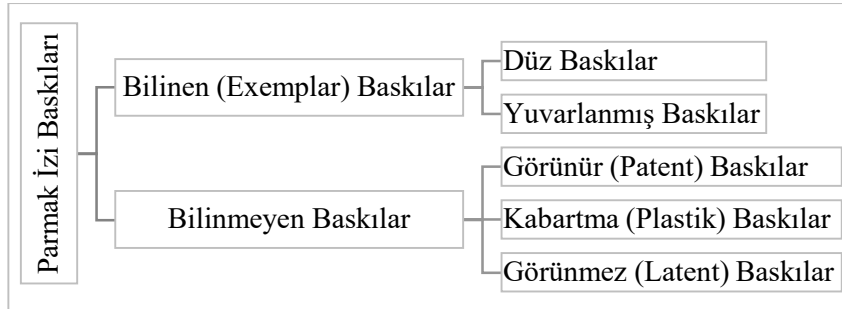
Parmak izinin benzersizlik özelliği kullanılarak geliştirilen sınıflandırma ve tanıma mekanizmaları, sivil, kolluk kuvvetleri ve adli bilimlerde kullanılan kimlik doğrulama sistemlerinin yanı sıra, güvenlik düzeyi yüksek platformlar oluşturmak amacıyla birçok farklı uygulama alanında da çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4, 17]. Parmak izi biyometrisi kullanan sistemlerin çalışabilmesi için, bireylerden gönüllü katılımları ile toplanan parmak izleri (intentional mode) kayıt altına alınır. Bu parmak izi kayıtları, bilinen (exemplar) baskılar tanımlanır [3]. Bilinen parmak izleri adli soruşturmalarda kullanılmak üzere kolluk kuvvetleri tarafından dört nedenden dolayı kayıt altına alınır. Bunlar:

- Parmak izini bireyin kimliğinin resmi kaydı olarak kullanabilmek
- Daha önceki bir tutuklama kaydını aramak
- Kanıt niteliğindeki parmak izleriyle karşılaştırmak
- Daha sonraki işlemler için Otomatik Parmak İzi Tanımlama Sistem’ine (AFIS) giriş yapmak

Parmak izi baskısı doğrudan bireyin parmağı yerine parmak izinin bırakıldığı ortamdan toplanarak da sayısallaştırılabilir. Özellikle kolluk kuvvetlerinin gerçekleştirdiği suç mahalli analizinde, bireyin farklı yüzeylere teması ile oluşan parmak izleri kanıt olarak kullanılmaktadır.

Bu parmak izleri bireyin gönüllü katılımı olmadan (unintentional mode) toplanan parmak izleri olup bilinmeyen baskılar olarak tanımlanır. Bilinmeyen baskılar, baskının oluşum biçimine göre görünmez (latent), görünür (patent) ve kabartma (plastic) parmak izi olmak üzere üçe ayrılır [18]. Görünür bir parmak izi kan, boya, kir vb. renk içeren bir malzemenin parmaktan yüzeye aktarılmasıyla oluşur. Kabartma parmak izi ise, yumuşak bir yüzeyde kalan üç boyutlu bir desendir. Bu izler sabun, çamur, mum, hamur vb. yüzeylerden toplanmaktadır. Görünür ve kabartma parmak izleri çıplak gözle tespit edilebilirken, görünmez parmak izi için aynı durum geçerli değildir. Parmak yüzeyinde, por adı verilen deliklerden salgılanan sıvı sebebiyle bir katman bulunur ve bu katman bir yüzeye temas

ettiğinde parmak izine ait sırt-vadi deseninin yüzeye aktarılmasına sebep olur [18]. Şekil 2.7’de literatürde tanımlanan parmak izi baskıları sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.7. Parmak İzi Baskıları

2.3. Parmak İzi Sınıflandırması

Parmak izi sınıflandırması, büyük miktarlarda parmak izi örneklerinin parmak izi modellerine, sırt çizgileri sayılarına ve sırt çizgilerinin tur sayılarına dayalı olarak daha küçük gruplar halinde organize edilmesi işlemidir [7]. Geçmişte, bir kişi tutuklandığında ya da harici bir sebepten parmak izi alındığında kişiye ait parmak izi kartı oluşturulmuş ve bu kartlar alfanümerik sınıflandırmayla saklanmıştır [19]. Günümüzde, AFIS gibi sistemler tarafından dijital olarak toplanan parmak izleri Başlık 2.1’de detaylı olarak anlatılan parmak izi kalıpları kullanılarak sınıflandırılmakta ve kayıt altına alınmaktadır.

Sınıflandırma sistemleri parmak izi kayıtlarını parmaklarda bulunan desen türlerine göre sınıflandırır. Bugüne kadar, Bertillon, Purkinje, Galton ve Faulds, Vucetich ve Henry gibi birçok farklı parmak izi sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir. Günümüzde Henry sistemi ve FBI’in kullandığı NCIC sistemi parmak izi sınıflandırması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Henry sınıflandırması, parmak izi desen türleri için alfanümerik gösterimler kullanır ve bunları bir sınıflandırma çizgisinin üstünde ve altında listeler. NCIC sınıflandırması ise, her parmak izi desen türüne iki harfli kod uygulayan bir sistemdir [7].

2.4. Adli Bilimler ve Parmak İzi ilişkisi

Adli bilimler, suç mahallerinden elde edilen fiziksel delillerin analizi yoluyla, suç araştırmacılarına bilimsel temelli bilgiler sağlayarak ceza adaleti sisteminde kritik bir rol

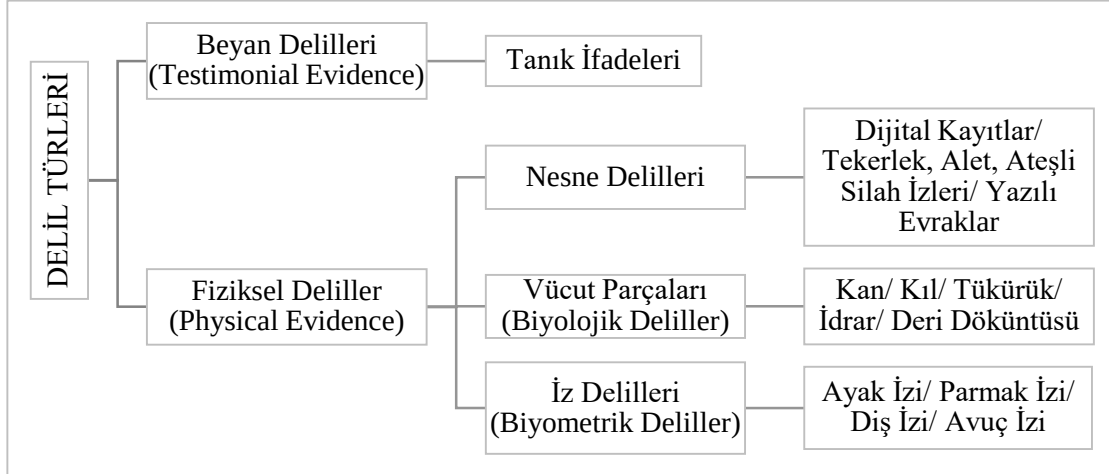
oynamaktadır. Genellikle bir suç soruşturması, suç mahallinden adli delillerin toplanmasını, kanıtların laboratuvarda analiz edilmesini ve ardından sonuçların mahkemeye sunulmasını içerir.

Bu bölümde, adli bilimlerde soruşturma için kullanılan delil türlerinden latent parmak izleri üzerinde durulmuştur. Latent parmak izlerinin adli değerlendirmede geçerli olabilmesi için sahip olması gereken unsurlar, latent parmak izinin kişiselleştirilmesinde karşılaşılan zorluklar, latent parmak izinin eşleştirilmesinde kullanılan teknik ve teknolojiler ve tüm bu süreçlere müdahil olan alan uzmanının kritik rolü üzerine genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2.4.1. Adli bilimlerde kullanılan delil türleri

Olay yeri inceleme en genel tanımı ile olay yeri-olayı gerçekleştiren-olaydan etkilenen arasındaki ilişkinin analiz edilmesi olarak ifade edilebilmektedir. Olay yerinden toplanan deliller ise, gerçekleşen olayın oluşum biçimini, ortamda bulunan kişiyi/kişileri, dış etkenleri, olayın gerçekleşme sebebini ve etkilenenleri tespit etmek, işlenen suçun anlamlandırmak için kullanılan verilerdir ve bu veriler olay yeri incelemesi sonucu toplanmaktadır. Suç mahalli araştırması bilimsel akıl yürütmeye dayanmaktadır. Bu değerlendirme biçimi, olay yerinin soruşturmasının sistematik, yöntemsel ve mantıksal olduğu anlamına gelir. Fiziksel kanıt, olay yeri, kişiler arasındaki örüntülerin çıkartılması ve gerçekleşen fiilin yeniden canlandırılması bu sistematik akıl yürütme sürecinin parçalarıdır [20, 21].

Adli delil, hakikati adli yargılamada soruşturulan herhangi bir iddianın tespit edilmesi veya reddedilmesi için gereken tüm bileşenlerden oluşur. Adli deliller, genetik materyal, iz bileşenleri, dental geçmiş ve parmak izleri gibi çeşitli kaynaklardan gelebilir. Kanıtlar, bir soruşturmada yasadışı bir maddenin izini sürmek, kalıntıları tespit etmek veya bir suçun yeniden inşa etmek gibi birçok amaca hizmet etmektedir. Şekil 2.8’de olay yeri inceleme sürecinde delil ihtiva eden veri tipleri gösterilmiştir. Bu adli deliller arasında, latent parmak izleri genellikle bir şüpheliyi bir suçla bağlayabilen çok önemli kanıtlardandır [22].



Şekil 2.8. Kriminal Vakalarda Karşılaşılan Delil Türleri

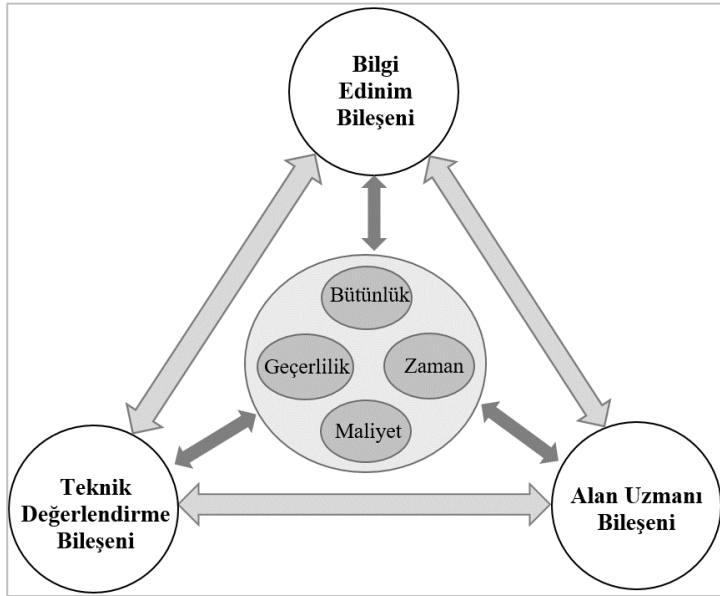
2.4.2. Latent parmak izleri

Parmak yüzeyindeki sırt çizgilerinin herhangi bir yüzeyle yaptığı sürtünmeden oluşan baskılar parmak izi olarak adlandırılır. Parmak izinin yüzeyle yaptığı bu temas bireyin gönüllü katılımı ile gerçekleştiyse, bu ilk akla gelen parmak izi tanımıdır. Fakat yüzeyle temas bireyin gönüllü katılımı olmadan, herhangi bir yere tutunma veya bir objeyi tutmaya dayalı olarak kazara gerçekleştiyse, bu parmak izi latent (görünmez) iz ya da kalıntı (mark, residue) olarak adlandırılır [23]. Latent parmak izleri adli bilimler alanında eğitim almış uzmanlar tarafından kimyasal, fiziksel veya optik geliştirme müdahaleleri ile ortaya çıkarılır ve suç mahallinden toplanır. Latent parmak izleri suç mahallerinde bulunan ve kasıtsız bırakılan izlerdir. Görünür hale getirilen latent parmak izleri daha sonra fotoğraflanır, adli parmak izi denetleyicileri tarafından ayırt edici özellikleri işaretlenir ve Otomatik Parmak İzi Tanımlama Sistemleri'nde (AFIS) arama yapmak için kullanılır. Adli analiz alanında, latent parmak izlerinin kullanılması, şüphelileri belirlemek için rutin bir prosedürdür [19].

Kolluk kuvvetleri, tutuklanan veya hapsedilen kişilerin parmak izlerinin bulunduğu devasa bir veri tabanına sahiptir. Latent bir parmak izi bulunduğunda, ceza soruşturmaları önce şüpheliyi belirli bir sabıka kaydıyla ilişkilendirmek ve kimliğini belirlemek için toplanan latent veriyi AFIS'de ararlar. Eşleşme varsa, kişi soruşturma altındaki suçla ilişkilendirilir [19].

2.4.3. Latent parmak izinin adli geçerlilik standartları

Olay yeri incelemesi bilim, mantık ve hukukun bir çatı altında ortak karar almasını gerektirir. Suç mahallini değerlendirme süreci; olay yerindeki koşulların eksiksiz ve tüm ayrıntıları ile belgelendirilmesi ve gerçekleşen sürecin etkenlerini ve etkilenenlerini tespit edecek her türlü fiziksel kanıtın toplanmasını ve değerlendirilmesini içeren uzun ve yorucu bir süreçtir [4]. Buna ek olarak her suç mahalli kendi spesifik özelliklerini barındırır, bu sebeple bir suç mahallinin değerlendirilmesinde ve kanıt toplanmasında gerçekleştirilen aşamalar farklı suç mahallerine doğrudan adapte edilebilen bir mekanizmaya sahip değildir.



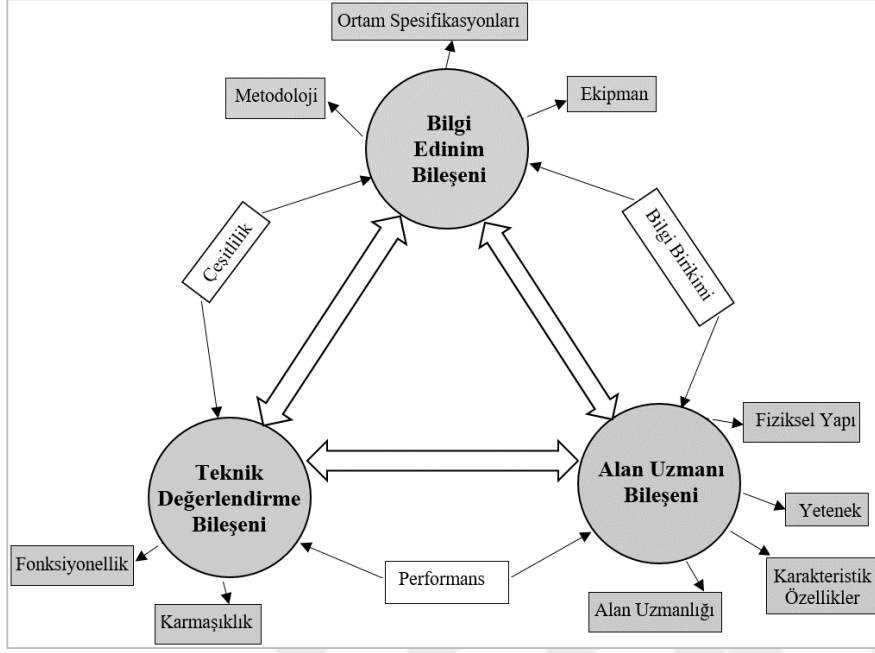
Şekil 2.9. Olay yeri bileşenleri ve inceleme esnasında uyulması gereken temel unsurlar [30]

Şimdiye kadar yapılmış birçok çalışmada olay yeri; eyleminin gerçekleştiği yer, kanıtın veya suç mahallinin büyüklüğü, işlenen suçun türü vb. kriterler üzerinden farklı açılardan adli tıp, psikoloji, antropoloji, sosyoloji, kriminoloji, biyoloji vb. disiplinler üzerinden değerlendirilmiştir [18, 24-28]. Bu tez çalışmasında olay yeri süreci bir mühendislik problemi olarak ele alınarak, latent parmak izinin tespiti, geliştirilmesi, iyileştirilmesi, toplanması, aktarılması, kayıt altına alınması ve eşleştirilmesi basamaklarının tamamını içeren tüm süreç bilgi edinme, alan uzmanının faaliyeti ve teknik değerlendirme bileşenlerine ayrılarak incelenmiştir. Bu bileşenler, Şekil 2.9’da gösterilen anahtar unsurlar kullanılarak analiz edilmiştir [29, 30].

Latent parmak izinin bir adli vakayı başarıyla aydınlatılması için bazı anahtar unsurların sağlanması gerekmektedir. Bu temel unsurlar açıklanmak istenirse [24, 31]:

- *Geçerlilik:* Olay yeri incelemesinde ortaya çıkan sonucun geçerliliği; olay yeri inceleme görevlilerinin vaka ile ilgili topladıkları bilgilere, olay yerinin incelenmesi ve araştırılmasında kullanılan metotlara/tekniklere ve laboratuvardaki analiz sonuçlarına bağlıdır. Bu aşamalar birbirine bağlı bir zincir gibi düşünülürse, herhangi birinde yaşanacak küçük bir dikkatsizlik veya hata, vakanın yanlış yorumlanmasına, hukuki yetkililerin yanlış yönlendirilmesine, delillerin kaybolmasına, hatta delil yetersizliğinden vakanın kapanmasına sebep olabilir. Bu nedenle, adli vakalar araştırılırken, olay yeri ve laboratuvar incelemelerinde alanlarında uzman kişilerin görev alması vakanın gidişatı açısından ciddi önem taşımaktadır.
- *Bütünlük:* Olay yerinin sınırları olayın tipine ve seyrine göre değişik boyutlarda olabilmektedir. Olay yeri, olayın işleniş tarzını, olaya taraf olan mağdur/fail ve mekân ilişkisini dinamik olarak gösterir. Olay yeri, olayla alakalı birçok iz ve delilin yanı sıra olaya müdahil olmayan kişilere ait delilleri de barındırmaktadır. Burada en önemli nokta, suçla ilişkili olan verinin tespit edilmesi ve delil zincirinin (chain of custody) doğru çıkarımlar yapılarak kurulmasıdır.
- *Zaman:* Olay yeri incelemesi zor ve zaman alıcı bir iştir ve birçok açıdan olay yerinde çalışan tüm personeller zamana karşı yarış içindedir. Delillerin içeriği zamanla bozulabilir ya da delil yok olabilir, suçlu başka kurbanlara saldırabilir veya kaçabilir. Buna ek olarak, bir soruşturmaya harcanan zaman, çalıştırılan uzman ve yapılan mesai açısından kolluk kuvvetleri için fazladan maliyet olarak görülmektedir. Bununla birlikte, acele yapılmış bir analiz ve üretilen yanlış bir sonuç tüm süreç için yıkıcı etki yaratır. Bu sebeple öncelikle dikkatli ve düşünceli bir yaklaşımla araştırmacı, ilişkili olmayan verileri ayıklayabilmeli ve gerekli elemeyi yaptıktan sonra elinde kalan bilgiye dayanarak birkaç farklı suç teorisi üretmelidir. Suç mahallinin profilinden ve tanıklardan gelen bilgiler dâhilinde gerçekleşen eylem hakkındaki makul çıkarımları ortaya çıkartabilmek için harcanan zaman çok önemlidir.
- *Maliyet:* Fiziksel kanıt türlerine uygulanan adli analitik prosedürler çok maliyetli olabilmektedir. Suç mahallinde mevcut olayla ilgisi olmayan kanıtların veya olayla ilgisi olsa dahi tanınmaz hale gelen kanıtların analizi soruşturmanın verimini düşürür ve maliyetini artırır. Buna ek olarak bazı suç mahallinde çok spesifik uzmanların, çok

spesifik ekipmanlarla birlikte çalışması gerekebilmektedir. Bu tarz gereklilikler soruşturma sürecinin maliyetini arttırır.



Şekil 2.10. Olay yeri bileşenlerinin değerlendirme kriterleri

Olay yerinin bileşenlerinde yer alan ve latent parmak izine uygulanan tüm işlem basamaklarının bahsedilen dört anahtar unsura uyumlu olması gerekmektedir (Bkz. Şekil 2.9). Buna ek olarak, her bileşeni kendi içinde değerlendirebilmek ve bazı bileşenlerin arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için özel kriterler de belirlenmiştir (Şekil 2.10). Bu kriterlerle alakalı detaylı bilgi, tez çalışmasının motivasyonunu oluşturan [28] nolu çalışmada yer almaktadır.

2.5. Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemleri (Automated Fingerprint Identification System- AFIS)

Teknolojinin biyometrik tanımlama/doğrulama sistemleri için bu kadar yaygın kullanılmadığı dönemlerde, parmak izini kayıt altına alabilmek için adli antropolojik yöntemler kullanılmıştır. Kayıt altına alınan bu örnekler, bir kriminal vakada tespit edilen ve kaynağı bilinmeyen parmak izleri ile ihtisaslaşmış uzmanlar tarafından birebir karşılaştırılarak kimlik tespiti gerçekleştirilmiştir. Hem kaynağı bilinen bir parmak izinin kayıt altına alınması hem kaynağı bilinmeyen bir parmak izinin bilinen örneklerle karşılaştırılması zahmetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Bahsi geçen bu süreçlere ek olarak,

parmak izinin taşınması, elde edilen karşılaştırma sonuçlarının kolluk kuvvetlerine veya ilgili mercilere gönderilmesi gibi iletim ihtiyaçları da manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Gelişen biyometrik teknolojilerin en büyük getirilerinden biri olan AFIS, kaynağı bilinmeyen bir parmak izinin biyometrik sisteme girişi, kayıt altına alınması, büyük veri tabanları ile karşılaştırılması, karşılaştırma sonucunun ilgili birimlere iletilmesi gibi işlem basamaklarını kısa sürede otomatik/yarı-otomatik olarak gerçekleştirebilmesi sebebiyle son derece verimli ve etkili bir araç haline gelmiştir ve parmak izi tanımlama/doğrulama sürecinin baştan aşağı değişimine sebep olmuştur [19, 32, 33].

Günümüzde kullanılan modern AFIS teknolojileri, farklı veri kaynaklarından farklı metodolojiler kullanılarak toplanan ve milyonlarca parmak izinden oluşan veri tabanlarına sahiptir. Bu veri tabanlarının bir kısmı manuel yöntemlerle uzmanlar tarafından kâğıt, silikon, kauçuk vb. materyallerle alınmış parmak izlerinin dijital ortama aktarılmasıyla toplanan ve günümüz teknolojisinin sunduğu veri edinim yöntemleri kullanılarak toplanan verilerden, diğer kısmı ise kriminal değerlendirme sonucunda toplanan verilerden oluşmaktadır. Bu sebeple AFIS, adli antropolojide kullanılan yöntemlerle alınan parmak izlerini, çevrimiçi/çevrimdışı ve temaslı/temassız yöntemlerle alınan parmak izlerini, olay yerinden toplanan görünür/görünmez/kabartma parmak izlerini değerlendirebilme yetisine sahip mekanizmalar olarak çalışmaktadır [34, 35].

Son dönemlerde AFIS parmak izi karşılaştırma/eşleştirme performansı bakımından önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Fakat bu sistemler; parmak izini hatalı sınıflandırma, güvenilir ayrıntı noktası çıkartamama, parmak izine ait tüm ayrıntı noktalarını kullanamama, karşılaştırma yöntemlerinin yetersizliği gibi henüz tam anlamıyla çözümlenememiş içsel problemleri de bünyelerinde barındırmaktadır ve AFIS'in karşılaştırma/eşleştirme performansı bu problemlerden büyük oranda etkilenmektedir. Buna ek olarak, AFIS'in en büyük dezavantajı düzgün çalışabilmesi için yüksek çözünürlüklü, yüksek kaliteli, gürültüsüz veya çok düşük gürültü değerine sahip parmak izlerine ihtiyaç duymasıdır [19,20]. Kriminal analiz sonucu elde edilen parmak izleri genellikle kısımdır, bozulmaya uğramıştır veya yüksek gürültü oranlarına sahiptir. AFIS için bahsi geçen sorunlu parmak izi örnekleri sınıflandırma, özellik çıkarımı ve karşılaştırma için yeterli olmadığından, bu sistemlerin çıktısı kime ait olduğu tespit edilmek istenen parmak iziyle belirli oranlarda benzerlik gösteren bir aday iz listesi olmaktadır. Bu durumda, eşleşme olasılığı olan parmak izleri ile tespit edilmek istenen parmak izinin birebir karşılaştırılmak suretiyle detaylı

incelenmesi, yine parmak izi üzerine ihtisaslaşmış uzmanlar tarafından gerçekleştirilmektedir [20, 36].

2.6. Latent Parmak İzlerinin Karşılaştırılması

Yerel, eyalet ve ulusal parmak izi veri tabanlarında arama yapmak için kullanılan AFIS'lerdeki kayıtlı parmak izleri, nüfusun sistematik olarak tanımlanması için oluşturulmuş değildir. Bu sebeple AFIS'deki veri havuzu farklı veri edinim senaryolarında toplanan parmak izlerini bünyesinde barındırmaktadır. AFIS'de kayıt altına alınmış parmak izlerindeki farklılık; veri toplama yöntemi (yuvarlanmış, düz vb.), veri edinim kaynağı (exemplar, latent vb.), verinin toplandığı ortam koşulları (suç mahallinden toplanan kanıtlar), verinin tespiti/geliştirilmesi/toplanmasında kullanılan ekipman türü ve kalitesi (sensör, tarayıcı, olay yeri inceleme ekipmanları vb.), veri toplama esnasında görev yapan alan uzmanının tecrübesi gibi birçok etkenden kaynaklanmaktadır. Tüm bunların dışında günümüz teknolojisinden yoksun bir biçimde toplanmış ve dijitalleştirilmemiş parmak izi kartları gibi kaynaklardan da beslenen AFIS, bünyesinde üç temel karşılaştırma senaryosu bulundurmaktadır [37]:

- Bireyden gönüllülük esasıyla toplanan, kaynağı bilinen iki parmak izi baskınının farklı örneklerinin karşılaştırılması (print-to-print comparison)
- Bireyden gönüllülük esasıyla toplanan parmak izi ile bireyin suç mahalli vb. ortamlarda kazara bıraktığı ve kaynağı bilinmeyen parmak izi örneğinin karşılaştırılması (trace-to-print comparison)
- İki farklı suç mahallinden toplanan ve kaynağı bilinmeyen parmak izlerinin karşılaştırılması (trace-to-trace comparison)

İlk senaryo için yapılan karşılaştırma sürecinde büyük zorluklarla karşılaşmaz. Çünkü parmak izi uygun veri edinim koşullarında toplanmıştır ve toplanan örnek yüksek kalitede olması sebebiyle bireyi tanımlayabilecek yeterli karakteristik miktarına sahiptir. Bu sebeple benzer olmayan parmak izlerini dışlama süreci kolaylıkla tamamlanır. Kusurlu veriler ve örneklerle çalışmak olarak tanımlanan adli bilimlerin ikinci ve üçüncü eşleştirme senaryoları üzerine odaklanmıştır. Suç mahallinden toplanan parmak izi verisi ne kadar kusurlu olursa olsun, o veriden elde edilen karakteristikler AFIS'de karşılaştırma yapılırken önemli bir dışlama değerine sahip olabilir. Bu sebeple özellikle ikinci senaryo karşılaştırmalarında, izde

bulunan belirli spesifik noktaların kümesi kimlik tespiti için yeterli olabilir. Bu üç karşılaştırmadan en zoru üçüncü senaryodaki eşleştirmedir. Çünkü hem AFIS'e kayıtlı veride hem suç mahallinden toplanan veride yeteri kadar karakteristik özellik olamayabilir. Bu durum sonucunda, veri havuzundan benzerliği olmayan örnekleri eleme süreci oldukça zor olabilmektedir ve muhtemel eşleşen örnek sayısı da oldukça fazla çıkabilmektedir [37].

2.7. ACE-V Metodolojisi

Latent parmak izleri kişiselleştirmede kullanılan çok önemli kanıtlar olarak görülmesine rağmen, bu izlerin karşılaştırması kolay bir iş değildir. Bu durum, esas olarak olay yerlerinden toplanan latent parmak izlerinin kalitesizliğinden kaynaklanmaktadır. Latent parmak izinin eşleştirme verimliliğini artırmak için Dvornychenko ve Garrism tarafından [38], Lights-Out sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem tam otomatik ve insan müdahalesi gerektirmeyen bir tanıma sürecidir. Lights-Out sistem konseptinde, latent parmak izinden karakteristik özellikler otomatik olarak çıkartılmakta ve bu özellikler bir dizi olası şüpheli elde etmek için AFIS veri tabanında depolanan örneklerle karşılaştırılmaktadır [38, 39].

Genel olarak, latent parmak izleri doğası gereği kısımdır ve çoğunlukla gürültülü, kirlenmiş (contamination), belirginliği düşük veya yapısı bozulmuş hat çizgilerinden oluşmaktadır. Bu durum, çok sayıda hatalı ve güvenilirmez karakteristik özelliğine, buna bağlı parmak izinin yanlış özetlenmesine ve AFIS'in yeterli karşılaştırma ve eşleştirme performansı gösterememesine sebep olur. Latent parmak izindeki bütün karakteristik özelliklerin otomatik sistemler tarafından güvenilir bir şekilde çıkartılamaması nedeniyle, hatalı karakteristikler ya da doğru karakteristiklerin tespit edilememesi durumu meydana gelmekte ve AFIS bir parmak izinden türetilebilecek tüm ayırt edici karakteristikleri kullanamamaktadır. Sonuç olarak, Lights-Out gibi tüm işlem adımları otomatik gerçekleşen sistemlerden yalnızca sınırlı bir latent parmak izi sınıfının faydalandığı, latent parmak izinin öznel niteliklerinin belirlenmesi ve ayrıntı noktalarının işaretlenmesi vb. prosedürlerinin hala manuel olarak gerçekleştirilmesi gerektiği görülmüştür [39]. Bu sebeple, günümüz teknolojisinin ve algoritmaların bize sunduğu imkânlar dâhilinde adli senaryolarda yalnızca Semi-Lights-Out sistem kullanılmaktadır. Bu sistem konseptinde, latent parmak izlerinden özellik çıkarılacak bölgenin işaretlenmesi (Region of interest-ROI), kullanılamayacak bölgelerin ayıklanması, parmak izinin hizalanması vb. eylemler için bir miktar insan müdahalesi gerekmektedir. Latent parmak izinden ayıklanan özellikler manuel olarak

kodlandıktan sonra, veri tabanında depolanan örneklerle otomatik olarak karşılaştırılmakta ve AFIS en yüksek eşleşme puanlara sahip adayların bir listesini sonuç olarak getirmektedir [38, 39]. Sonrasında ise, parmak izi analistleri bu yüksek puanla eşleşen baskıları, Analiz, Karşılaştırma, Değerlendirme ve Doğrulama (ACE-V) olarak bilinen sırt çizgilerini inceleme metodolojisini kullanarak manuel olarak analiz etmektedir.

ACE-V, adli kimlik tespitinde iki baskının aynı olup olmadığını ve aynı kaynaktan gelip gelmediğini belirlemek için kullanılan bilimsel yöntemdir [40]. Bu metodoloji ilk defa Roy Huber tarafından 1959 yılında ACE metodolojisi olarak ortaya çıkmıştır [41]. Sonrasında, 1979 yılında David Ashbaugh, yapılan her karşılaştırma için bir doğrulama sürecinin yürütülmesi gerektiğini ileri sürerek ACE metodolojisine doğrulama (verification) basamağını eklemiştir ve doğrulama basamağının metodolojiyi daha bilimsel hale getirdiğini ifade etmiştir [42].

ACE-V metodolojisinin fazları kısaca özetlenmek istenirse [40-44]:

- *Analiz:* Bu faz, bir latent baskının sistematik olarak çeşitli alt bileşenlere ayrılmasından ve bu alt bileşenlerin kontrol baskısı gözlenmeden görüldüğü şekliyle değerlendirilmesinden sorumludur. Bu fazda; (i) parmak izi kalıntısındaki sırt detaylarının miktarının/kalitesinin/özgüllüğünün değerlendirilmesi, (ii) parmak izinin anatomik orijininin, oryantasyonunun, toplandığı yüzeyin, tespit yönteminin ön değerlendirilmesi, (iii) parmak izinin mevcut distorsiyonun varlığı, katkısı ve türünün değerlendirilmesi (iv), karşılaştırma fazında kullanılacak unsurların seçimi ve bu seçili unsurlara toleransların atanması (v), vakanın karmaşıklık düzeyinin atanması (vi) basamakları gerçekleştirilir. Bu basamaklardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, baskının başka bir baskı ile karşılaştırmak için “uygunluk” değeri belirlenir. Baskının yetersiz olduğu tespit edilirse karşılaştırma için uygun olmadığı belirtilerek inceleme sonuçlandırılır, eğer baskı yeterli ise sonraki faza geçilir.
- *Karşılaştırma:* Bu fazda benzerlik, sıralı ve uzamsal ilişkiye dayalı olarak iki baskıdaki ayrıntıların uyum içinde olup olmadığını belirlemek için sırtı ayrıntılarının doğrudan veya yan yana karşılaştırılması gerçekleştirilir. Karşılaştırmayı yapan parmak izi analisti, her tür ayrıntının, bunların sıralarının ve konfigürasyonlarının karşılaştırmalı ölçümünü yapmaktadır. Bir parmak izine ait iki farklı örnek, hiçbir zaman baskı mükemmel şekilde çoğaltılamadığından, birebir aynı olmamaktadır. Bu sebeple karşılaştırmalı ölçümler,

varyasyonlar için kabul edilebilir tolerans dâhilinde olmalıdır. Seviye 1-2-3 detaylarının karşılaştırmalı ölçümleri, sırt yollarının sekansları ve konfigürasyonlarının karşılaştırmaları ile birlikte yapılmaktadır. Parmak izi analisti düşük kaliteli baskılardaki varyasyonlara daha toleranslı olduğundan daha fazla ayrıntı noktası kullanarak, kaliteli baskılardaki varyasyonlara daha az toleranslı olduğundan daha az ayrıntı noktası kullanarak karşılaştırma yapmaktadır. Karşılaştırma esnasında birinci, ikinci veya üçüncü ayrıntı düzeylerinin (Seviye 1-2-3 özellikler) fiili mutabakat veya anlaşmazlığının belirlenmesinden sonra, değerlendirme fazına geçilir.

- *Değerlendirme:* Bu faz parmak izindeki sırt çizgilerinin analizine ve karşılaştırılmasına dayanan bir sonucun formülasyonudur. Karşılaştırma aşamasında parmak izi analisti söz konusu baskıların ayrıntılarına ilişkin mutabakat veya anlaşmazlık tespitleri yaparken, değerlendirme fazında ise baskıda bir bireyselleştirme bulgusunun olup olmadığına veya eşleşen baskıların aynı kaynaktan olup olmadığına dair nihai karar verilmektedir.
- *Doğrulama:* Bu faz aynı sonucun elde edilip edilmeyeceğini gözlemleyebilmek için başka bir kalifiye parmak izi analisti tarafından yapılan bağımsız incelemedir. Doğrulama fazını gerçekleştiren parmak izi analisti tarafsız bir sonuca varabilecek yeterlilikte olmalıdır.

2.8. Adli Parmak İzlerinin Kişiselleştirilmesinde Karşılaşılan Zorluklar

2.8.1. Parmak izinin ayırt ediciliği

Biyolojik bir ölçümün biyometrik bir özellik olup olmadığının tayini evrensellik, farklılık, kalıcılık, toplanabilirlik, nicel olarak ölçülebilirlik, performans, kabul edilebilirlik, sahtekârlığa karşı dayanıklılık faktörleri üzerinden gerçekleştirilmektedir [45]. Bu faktörlerden kalıcılık ve farklılık, latent parmak izinin adli bilimler tarafından delil olarak kabul edilmesini sağlamıştır. Parmak izinin kalıcı olduğu önermesi yaygın olarak kabul edilmektedir, ancak parmak izinin benzersiz olduğu önermesi genellikle sorgulanmaktadır [46, 47].

Parmak izi sırt çizgilerinin oluşturduğu desenler kalıcı olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, parmak izi derisi düzenli olarak yenilediği için yüzey hücreleri de düzenli olarak değişir. Fakat cilt yenilenirken hücre doğal olarak önceki formu koruyacak şekilde çoğalmaya çabalamaktadır. Bu sebeple, parmak yüzeyinde mikroskobik farklılıklar olsa da,

genel biçim ve özellikler kalıcı olduğundan karşılaştırma işlemleri her daim gerçekleştirilebilmektedir.

Parmak izinin ayırt edici özelliği sıklıkla sorgulanmaktadır. Çünkü parmak izinin benzersizliği yerleşik bir gerçek değil, yalnızca ampirik bir gözlemdir. Bu benzersizlikle ilgili bir başka varsayım da doğadaki desen oluşumlarının morfolojik yapılarında asla tekrarların gözlemlenmemiş olmasıdır [5, 22]. Bu gözlemi doğrular nitelikte bir başka yaklaşım ise bugüne kadar AFIS üzerinde yapılan eşleştirme sonuçlarının çıktısıdır. AFIS, parmak izlerinde mümkün olan tüm ayırt edici özellikleri kullanmaz, ancak bir özellik çıkarma algoritması tarafından otomatik olarak çıkarılan yalnızca sınırlı türde özellikleri kullanmaktadır. Bu sınırlamalara rağmen, hiçbir model ve uygulama parmak izlerinin benzersiz olmadığına dair kanıt sağlamamıştır. Yanlış kişiselleştirme sonuçları, çoğu latent parmak izinin doğası gereği kısmi olması ve toplanan latent parmak izlerinin kalitesizliği nedeniyle ortaya çıkmıştır.

2.8.2. İnsan faktörünün etkisi

Latent parmak izini görünür hale getirme süreci, uygulanacak tek bir yöntemden oluşabileceği gibi uygun yöntem ve tekniklerin arka arkaya veya sırayla uygulanmasıyla da gerçekleştirilebilir. Bu teknik ve yöntemler, çıplak gözle hiç görülemeyen bir parmak izini görünür hale getirmek amacıyla uygulanabileceği gibi kısmen görünür halde olan bir parmak izinin görünürlüğünü artırmak amacıyla da kullanılabilir. Alan uzmanları, tüm bu kritik kararların sırasını belirler. Geliştirme ve edinim süreçleri, özellikle olay yerinde latent parmak izlerinin tespit edildiği, geliştirmek ve toplamak için farklı disiplinlerden uzmanların birlikte çalışmasını gerektiren veya toplanması gereken çok fazla latent parmak izinin olduğu durumlarda tam bir kaosa dönüşebilir [48, 49].

Olay yerini oluşturan bileşenlerden veri edinimi ve teknik değerlendirme süreçlerinin kendi içlerinde barındırdıkları problemleri giderebilmek adına uluslararası standartlar ve prosedürler kullanılarak sonuç üzerinde bir iyileştirme gerçekleştirilebilir. Fakat problemin öznesinin insan olduğu alan uzmanlığı bileşenini farklı bakış açıları ile değerlendirmek gerekmektedir. Latent parmak izinin incelenmesi ve karşılaştırılmasını içeren ACE-V yöntemi sırasında, parmak izi analistleri kilit noktadır. Analistin karakteristik, fiziksel ve ruhsal özellikleri ile bilişsel yetenek, tecrübe, fiziksel özellik, mental dayanıklılık gibi

parametreler değerlendirme sürecinin başarısına doğrudan etki etmektedir. Alan uzmanları arasındaki algı ve karar verme yeteneğindeki değişiklik sebebiyle, aynı sonuçlar iki farklı denetçi tarafından tekrarlanamayabilir [48, 49].

İnsan faktörünün adli parmak izi analizindeki artan merkezi rolü, yanlış sonuçlar geliştirmenin yolunu açmıştır. Bu tez çalışmasının temel amaçlarından biri, olay yeri inceleme sürecinde insan faktörünü olabildiğince azaltmak için yeni bir yaklaşım önermektir.





3. MOBİL OTOMATİK PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ

Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan geleneksel tasarıma sahip parmak izi tanıma sistemlerinin mekanizması genellikle temasa (dokunmaya) dayalı parmak izi ile çalışabilecek şekilde düzenlenmiştir. Hem temaslı parmak izi toplama yöntemlerinden kaynaklanan problemler hem bu yöntemlerin taşınabilirlik, uygulanabilirlik, kullanışlılık, uyarlanabilirlik vb. harici beklentileri karşılayamaması sebebiyle, güncel teknolojinin sunduğu alternatif veri toplama yaklaşımları üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Günümüzde akıllı telefonların çeşitli biyometrik uygulamalarda yaygın olarak kullanılması nedeniyle, literatürde bu cihazlar kullanılarak veri ediniminin temassız gerçekleşebildiği alternatif yaklaşımların sunulduğu çalışmalarla sıklıkla karşılaşılmaktadır (Çizelge 3.2). Konu parmak izi biyometrisi olduğunda, akıllı telefonların biyometrik sisteme entegrasyonunun üstünlükleri ve eksiklikleri değerlendirilerek, MAFIS (Mobile Automated Fingerprint Identification System-Mobil Otomatik Parmak İzi Tanıma Sistemi) ismi verilen yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu bölümde geliştirilen MAFIS sistemi tanıtılmıştır.

3.1. Motivasyon ve Hedefler

Parmak izi toplama süreci otomatik kimlik doğrulama sisteminin en kritik adımı olarak kabul edilir. Bu sebeple, parmak izi edinim sürecinde kullanılan her türlü metodoloji ve teknoloji, bu sürecin azami başarımla tamamlanması üzerine tasarlanmalıdır. Fakat görülmektedir ki, geleneksel biyometrik sistemlerde kullanılan parmak izi veri edinim yöntemleri bu isteği yerine getirebilecek kapasitede değildir. Bu bağlamda, temasa dayalı veri edinim yöntemlerinin geliştirilmesi için güncel teknolojinin sunduğu fırsatlar değerlendirilmeli, mevcut yöntemler bu doğrultuda iyileştirilmeli, iyileştirilemiyorsa yeni yaklaşımların var olan sistemlere adaptasyonu gerçekleştirilmelidir. MAFIS'in tasarlanmasındaki temel motivasyonlardan biri, mevcut biyometrik sistemlere yeni bir bakış açısı kazandırmak ve bu bakış açısının, sunduğu üstünlükler sebebiyle, birçok alanda tercih edilebilirliğini sağlamaktır. Bu kapsamda MAFIS tasarlanırken:

- Mevcut veri edinim yaklaşımlarının eksikliklerini gideren bir parmak izi algılama ve geliştirme prosedürü
- Kolay kullanıma sahip bir biyometrik sistem
- Düşük maliyetli bir biyometrik sistem

- Mevcut biyometri temelli altyapılara kolayca entegre olan bir biyometrik sistem
- Taşınabilirlik özelliği olan bir biyometrik sistem

geliştirmek hedeflenmiştir.

Biyometrik teknolojilerin günümüzde geldiği nokta ve sunduğu hizmetler, güvenilirlik düzeyi yüksek platformlar sağlamanın da ötesine geçmiş durumdadır. Biyometri tabanlı kontrol mekanizmalarının denetim ve güvenlik hizmeti sunan teknolojilere göre daha yüksek bir benimsenme oranına sahip olması, biyometrik sistemlerin kritik görevleri yerine getirmek üzere spesifik uygulama alanlarında da kullanımını ve kabul edilirliliğini arttırmaktadır. Bu spesifik uygulama alanlarından biri olan adli bilimler ve parmak izi biyometrisinin ilişkisi derinlemesine analiz edilmiştir [30]. Bu analiz sonucunda, olay yeri inceleme sürecinde parmak izinin maddi delil olarak kullanıldığı ve olay yeri incelemede hem bireyden hem ortamdan toplanan parmak izinin delil zinciri olarak adlandırılan süreç kapsamında değerlendirildiği görülmüştür. Delil zinciri kavramı, parmak izinin toplanma, geliştirilme, ön işleme, eşleştirilme ve kimliklendirilme basamaklarının tamamını içermekte olup, olay yeri-olayı gerçekleştiren-olaydan etkilenen arasındaki ilişkinin en sağlıklı şekilde kurulabilmesi için uygulanan prosedürlerin bütünü olarak ifade edilmektedir [30]. Olay yeri incelemede parmak izinin kullanımı ve bahsi geçen basamakların gerçekleştirilmesinde kullanılan metodolojiler incelendiğinde, bu basamakların farklı alan uzmanları tarafından farklı yöntemler, ekipmanlar ve prosedürler kullanılarak tamamlandığı ve bu basamaklarda sürdürülen çoğu prosedürün manuel olarak gerçekleştiği görülmüştür. MAFIS'in tasarlanmasındaki temel motivasyonlarından bir diğeri ise bu basamaklarda gerçekleştirilen prosedürlerin iş yükünü azaltmak ve bu basamakları birbirleri ile iletişim kurabilecek şekilde tasarlayabilmektir. Bu kapsamda MAFIS ile:

- Biyometrik doğrulama/tanımlama mekanizmalarına ihtiyaç duyulan spesifik uygulama alanlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş yeni bir parmak izi algılama ve geliştirme prosedürü
- Parmak izi toplanılan katılımcı ile parmak izi toplayan alan uzmanını yönlendirmek suretiyle, veri edinim sürecinden kaynaklanan hataları ortadan kaldıracabilecek ya da en azından asgariye indirebilecek yeni bir yöntem
- Farklı alan uzmanları tarafından gerçekleştirilen parmak izi toplama, geliştirme, iyileştirme, eşleştirme basamaklarının tek bir merkezden yönetilebileceği bir sistem

- Biyometrik içeriğe sahip delillerin ilişkilendirilmesine imkân sunabilecek bir yaklaşım
- Parmak izi edinimi için daha pratik bir veri toplama modeli
- Veri edinim aşamasının akıllı telefonlarla yapılabildiği bir sistem

sunulmuştur.

3.2. Çalışmanın Katkısı

MAFIS; temaslı veri edinimi ile çalışan parmak izi tanımlama/doğrulama sistemleri ile aynı hizmeti sunabilen, temaslı edinim yöntemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldıracak bir temassız parmak izi edinim prosedürünü bünyesinde barındıran, parmak izi biyometrisi temelli taşınabilir bir tanımlama/doğrulama sistemidir. Bu sistem temassız yöntemle bireyden parmak görüntülerini toplamak için geliştirilmiş bir aparattan, toplanan parmak görüntülerinden parmak izini çıkaran, iyileştiren ve eşleştiren yöntemlerden oluşmaktadır. Bu kapsamda, MAFIS'in sunduğu temel katkılar:

1. Temaslı yöntemlerin doğası gereği, temastan kaynaklanan deformasyonu ortadan kaldıran bir algılama ve geliştirme prosedürü geliştirmektir.
2. Temassız veri edinim yöntemlerinin handikabı olan yüksek maliyetli, taşınabilir özelliğe sahip olmayan ve özel kurulum gerektiren veri toplama düzeneklerine alternatif düşük maliyetli, kompakt, taşınabilir ve kullanımı uzmanlık gerektirmeyen temassız parmak izi toplama yaklaşımı sunmaktır.
3. Kadavra veya bir cesede ait sadece belirli uzuvların bulunduğu ve canlı olma hali gerektiren veri edinim yöntemlerinin kullanılmadığı senaryolarda, pratik olarak kullanılabilecek bir veri edinim yöntemi sunmaktır.
4. Temaslı edinim yöntemlerinin içsel problemlerinden biri olan hijyenik olamama durumunu ortadan kaldıran bir veri toplama biçimi önermektir.
5. Temaslı edinim yöntemlerinde kullanılan cihazlarında bir önceki kullanıcıdan kalan iz kalıntılarının oluşturduğu gürültüyü ortadan kaldırabilmektir.
6. Yüksek maliyetli ve hareket kabiliyeti sınırlı biyometrik sistemler yerine, akıllı telefonların yüksek çözünürlüklü görüntüleme özelliği, taşınabilirlik, kullanım kolaylığı, düşük maliyet, yüksek işlem gücü gibi özelliklerini kullanarak tasarlanan mobil biyometrik sistemlerin kullanılabilirliğini arttırmaktır.

7. Veri toplama ve kayıt altına alabilme, toplanan veriyi detaylı olarak analiz edilebilmek için sunucu üzerinden merkez birimlere iletebilme, veri ile alakalı analiz sonuçlarına anında erişebilme yeteneklerini bir araya getirebilecek bir model sunmaktır.

3.3. Parmak İzi Algılama Yöntemleri Üzerine Genel Bir Bakış

Bir parmak izinin karakteristiğini algılamaya yönelik olarak kullanılan en yaygın prosedür, parmağın bir tarayıcı, okuyucu, sensör vb. cihaz plakasının üzerine yerleştirilmesini ya da yuvarlanmasını veya parmak yüzeyinin mürekkep gibi bir renklendirici ile boyanarak bir kâğıt üzerine bastırılmasını ya da yuvarlanmasını gerektirmektedir. Tarihsel olarak, kolluk kuvvetleri uygulamalarında parmak izi görüntülerinin elde edilmesi "mürekkep tekniği" olarak adlandırılan teknik ile gerçekleştirilmiştir. Mürekkep ile boyanan parmak yüzeyi bir kâğıt kart üzerine temas ettirildiğinde parmak izi oluşur, bu kart üzerindeki iz tarayıcı yardımıyla dijital ortama aktarılır. Bu tür bir edinim süreci, çevrimdışı parmak izi edinimi veya çevrimdışı algılama (offline sensing) olarak adlandırılır. Çevrimdışı algılamanın özel bir durumu, olay yerlerinden latent parmak izlerinin elde edilmesidir. Günümüzde çoğu sivil uygulamaların ve kolluk kuvvetlerinin veri tabanları, elektronik parmak izi tarayıcısı ile parmak yüzeyini doğrudan algılayarak elde edilen canlı tarama dijital görüntülerini kabul etmektedir. Bu yöntem çevrimiçi algılama (online sensing) olarak adlandırılır, mürekkep veya herhangi bir renklendiricinin parmak yüzeyine uygulanması gerekmez. Yapılması gereken tek şey parmağın veri yakalama cihazına temas ettirilerek izin dijital ortama aktarılmasıdır [3].

Parmak izi algılama sürecinin tanımlama (identification), doğrulama (verification), kanıtlama (authentication) ve yetkilendirme (authorization) süreçlerini yöneten sistemlerin performansı üzerinde ciddi etkisi olması sebebiyle, bu süreç en kritik adım olarak kabul edilir. Bu sebeple parmak izinin benzersizlik özelliği kullanılarak geliştirilen sınıflandırma ve tanıma mekanizmaları uygun veriyi edinebilmek için, performans, maliyet, hız, kalite, kullanılabilirlik, taşınabilirlik vb. birçok farklı kriteri dikkate alarak geliştirilmiş bir parmak izi toplama ortamına ihtiyaç duyar. Parmak izi toplama işlemini maksimum performansla tamamlayabilmek adına, veri edinim sürecinde farklı teknolojilerin kullanıldığı birçok parmak izi algılama yaklaşımı geliştirilmiştir. Veri edinim sürecinde kullanılan teknolojiler ve teknikler bakımından farklılık gösteren bu yöntemler, temelde temassız ve temaslı parmak izi algılama olarak iki temel kategoride incelenmektedir.

Çizelge 3.1. Parmak izi algılama üzerine yapılan çalışmalar

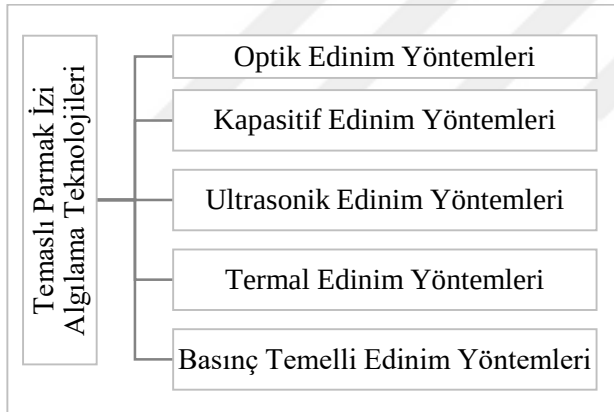
Kay.	Donanım	Önerilen Yaklaşım	Test Yöntemi	Başarı Oranı
[50]	Latent parmak izi sensörü	Deflektometri kullanılarak parmak izlerinin profilinin çıkarılması için kompakt, düşük maliyetli bir teknik ve cihaz	Çalışma, farklı bireylerle ait farklı parmak izi setlerinde test edilmiştir. Fakat veri seti hakkında detaylı açıklama yapılmamıştır.	Toplanan örneklerin yüksek eşleştirme başarısı elde ettiği ifade edilmiştir.
[51]	Temassız Sensör	Kısmi teması, doğrusal olmayan bozulmayı, tutarsız görüntü kalitesini ve kalıntı izlerini önlemek için beş parmağın tümünün parmak izi görüntülerini aynı anda yakalayan bir donanım	Önerilen cihaz tarafından yakalanan 900 parmak izi görüntüsü kullanılarak test edilmiştir.	Temassız sensör yakalama oranı %57, dokunmatik sensör yakalama oranı %41
[52]	Yüksek Çözünürlüklü Sensör	Yüksek çözünürlüklü otomatik parmak izi tanıma sistemleri (AFRS) için yüksek güvenlik seviyesi sağlamak	Önerilen cihaz tarafından yakalanan 25 erkek ve 25 kadın parmak izi görüntüleri kullanılarak test edilmiştir.	Farklı çözünürlük değerleri için farklı EER değerleri bulunmuş ve değerler tabloda gösterilmiştir.
[53]	Çok bantlı görüntüleme	Farklı ışık dalga boyları, farklı polarizasyon koşulları, farklı aydınlatma yönelimleri kullanarak parmak hakkında farklı ve tamamlayıcı bilgiler toplamak	118 farklı kişinin parmak izi görüntüsü kullanılarak test edilmiştir.	EER: %0.8 / %0.01'lik bir FAR'daki FRR: %2.5 TAR: %97.5
[54]	OKT (Optik Koherens Tomografisi)	OKT'ye dayalı bir gürbüz parmak izi tanıma sistemi	150 farklı kişinin parmak izi görüntüsü kullanılarak test edilmiştir.	OKT tabanlı parmak izlerinde EER: %0.42, 2B yüzey parmak izlerinde EER: %8.05
[55]	Hassas karbon disülfür sensörü	Dalga boyu modülasyon spektroskopisine dayalı hassas bir karbon disülfür sensörü	Sensör performansları, bir dizi konsantrasyon deneyi uygulanarak test edilmiştir.	Sensör yanıtı doğrusalılığı 0.999 ve RME %1'den az
[56]	Geribildirim Kapasitif Algılamaya Dayalı Parmak İzi Sensörü	Herhangi bir optik ve mekanik adaptör kullanmadan parmak izi desenini yakalamak	Sensörün genel performansı uygun bir A/D arayüz kartı ile test edilmiştir.	Parmak izinden çok fazla ayrıştırma noktası ve detay bilgisi yakalandığını göstermek adına, sonuçlar çalışmada görsel çıktılar üzerinden gösterilmiştir.
[57]	OKT (Optik Koherens Tomografisi)	OKT ile toplanan parmak izi papillerin bağlantı kontur tespiti ve bu noktaların konumlarını haritalandırarak yüzey altı parmak izi betimlemek	OKT ile toplanan parmak izlerinin özelliklerinin 13 gönüllü tarafından kontrol edilmesi ile önerilen cihaz ve geliştirilen yöntem test edilmiştir.	Parmak izi haritalama sonuçları tespit edilen ayrıntı noktaları kullanılarak tabloda gösterilmiştir.
[58]	Üç Boyutlu Ultrasonik Parmak İzi Sensörü	Ter, yağ vb. kontaminasyonlara karşı duyarlı olmayan, hem yüzey epidermal hem yüzey altı dermal parmak izlerini görüntüleme	Önerilen sensörle farklı nem koşulları altında toplanan parmak izinin görüntü kalitesi ticari bir parmak izi sensörüyle karşılaştırılarak toplanan veri test edilmiştir.	Önerilen çalışmanın benzer çalışmalarla performans karşılaştırması sonuçları tabloda gösterilmiştir.

Parmak izi edinim yöntemlerinin keşfedilişi ve bu yöntemlerin gelişimini tamamlayarak günümüzdeki versiyonları ile kullanılması, farklı disiplinlerinin birlikte çalışması ve teknolojik gelişmelerin de mevcut yöntemlere adaptasyonu ile mümkün olmuştur. Bu sebeple parmak izi edinimi üzerine yapılan yenilikleri içeren güncel akademik çalışmalar ve ticari uygulamalar, hali hazırda geliştirilen teknik ve yöntemlerin eksikliklerini tamamlama veya

iyileştirme üzerine gerçekleştirilmektedir. Parmak izi edinim yöntemleri üzerine genel bir değerlendirme yapmak için, Çizelge 3.1’de yapılan çalışmalar incelenmiş, tez çalışmasında kullanılan veri edinim yönteminin seçilme sebebini detaylandırabilmek için temaslı ve temassız edinim yaklaşımlarında kullanılan temel teknik ve yöntemler Başlık 3.3.1 ve 3.3.2’de kısaca anlatılmış, bu yöntemlerin birbirlerine göre üstünlük ve eksikliklerine Başlık 3.3.3’de yer verilmiştir.

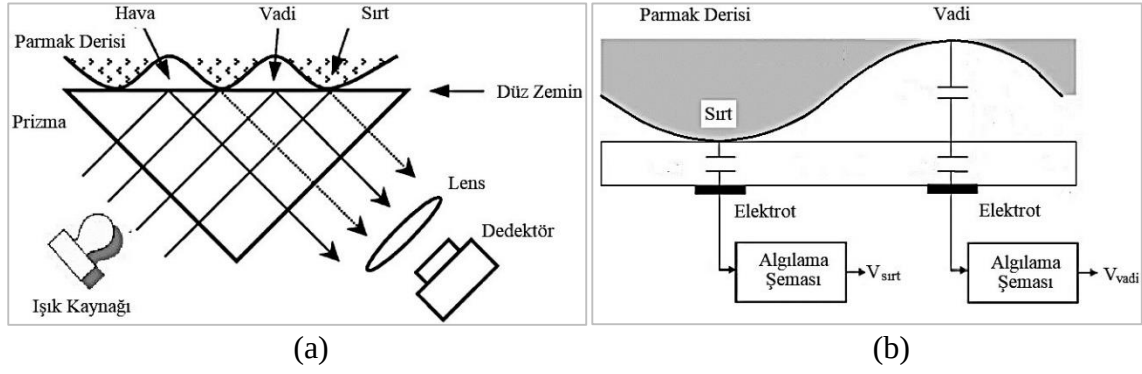
3.3.1. Parmak izinin temaslı edinim yöntemleri

Temaslı parmak izi edinim teknolojileri süregelen bir gelişim içerisinde, ancak tüm bu gelişimler çalışma moduna bağlı olarak tarama (scan) veya dokunma (touch) ile veri edinimi ve kaydırma (sweep) yoluyla veri edinimi olarak iki kategori üzerinden çeşitlenmektedir [5]. Parmak izini tarama veya kaydırma yoluyla bölgesel veya kesitsel olarak algılayabilmek için sensör, tarayıcı, okuyucu vb. gibi elektronik cihazlar kullanılmaktadır.



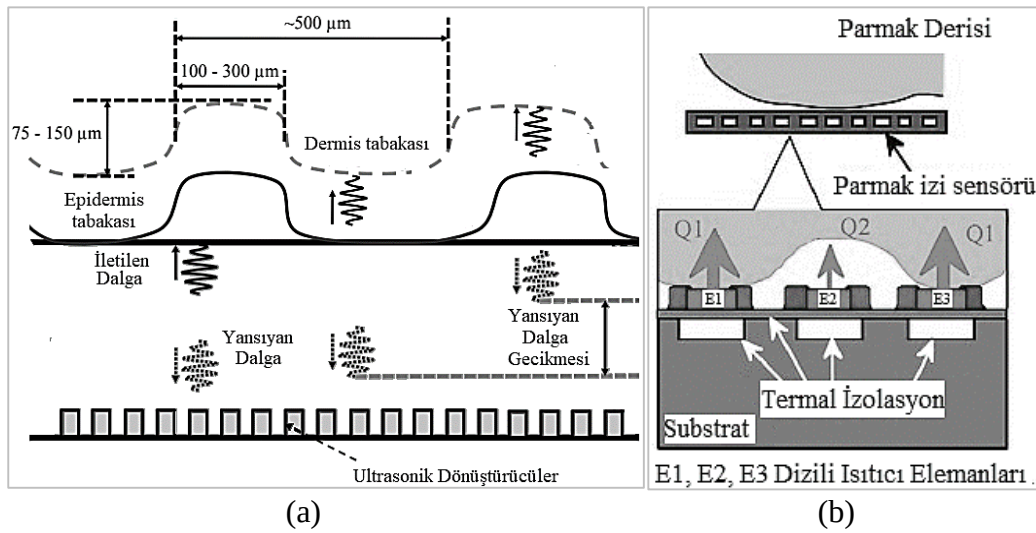
Şekil 3.1. Parmak izinin temasa dayalı ediniminde kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması

Bir parmak izi yakalamanın ilk ve en eski yöntemi optik edinimdir [5, 59, 60]. Parmak izinin fotoğraflık bir görüntüsünü bu yöntemle toplanır. Optik sensörler, görünür ışığı yakalayıp, bu ışığı parmak izi görüntüsünü oluşturmak için kullanılan elektrik sinyallerine dönüştürerek parmak izi modellerini kaydeder (Şekil 3.2a). Sensörler, dedektöre çarpan ışıktaki enerjiyi elektrik yüküne dönüştüren fotodiyot dizilerine veya fototransistör dedektörlerine sahiptir. Optik sensör paketlerinin çoğu, parmak ucunu aydınlatmak için bir LED (Işık Yayan Diyot) veya LED dizisi içerir, böylece dedektör parmaktan yansıyan ışığı kullanarak parmak izi görüntüsünü yakalayabilir. Koruyucu kaplamalı bir prizma daha sonra ışığı dedektöre doğru yansıtmak için kullanılır.



Şekil 3.2. Optik yöntem kullanarak parmak izi edinimi (a), kapasitif yöntem kullanarak parmak izi edinimi [60]

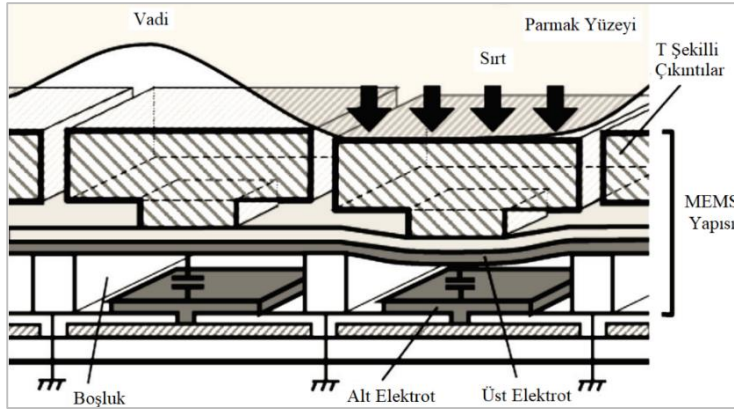
Optik yöntemlerle toplanan parmak izi görüntülerinin kolayca manipüle edilebildiği ve bu durumun biyometrik sistemleri aldatılabilmesi sonucunu doğurması sebebiyle, harici veri edinim yaklaşımlarının arayışı içerisine girilmiştir. Bu sebeple, güvenlik düzeyini iyileştirme ihtiyacına bir yanıt olarak, kapasitif parmak izi edinim yöntemleri geliştirilmiştir [59, 60]. Kapasitif bir parmak izi sensörü, binlerce küçük kapasitör plakası içeren bir dizi kullanarak parmak izi görüntüsünü oluşturur (Şekil 3.2b). Dizi plakaları görüntünün piksellerini oluşturur. Parmak sensöre yerleştirildiğinde, parmak yüzeyinin çıkıntıları veya çukurları ile sensör plakaları arasında bir model oluşturan zayıf elektrik yükleri meydana gelir. Bu yükleri kullanarak sensör, algılanan yüzey boyunca kapasitans modelini ölçer. Ölçülen değerler sensör mantığı ile dijitalleştirilir [59, 60].



Şekil 3.3. Ultrasonik yöntem kullanarak parmak izi edinimi (a), termal yöntem kullanarak parmak izi edinimi [60]

Ultrasonik parmak izi edinim yöntemleri, parmak izinin görsel görüntülerini oluşturmak için tıbbi ultrasonografi prensiplerinden yararlanır [5, 59, 60]. Optik görüntülemenin aksine, ultrasonik görüntülemeye cildin epidermal katmanına nüfuz etmek için çok yüksek frekanslı ses dalgaları kullanır. Ses dalgaları piezoelektrik dönüştürücüler kullanılarak üretilir ve yansıyan enerji de piezoelektrik malzemeler kullanılarak ölçülür (Şekil 3.3a). Ultrasonik parmak izi toplama yöntemlerinin kapasitif yöntemlere göre avantajı, ultrasonik tarayıcıların daha uzun süre tarama yapabilmesi ve daha fazla ayrıntı yakalama imkânı sunmasıdır. Bu sebeple, ultrasonik yöntemler kapasitif yöntemlere göre daha güvenilirdir. Fakat çalışma mekanizmasının daha yavaş ve kullanımının maliyetli olması, yüksek performans gerektirmesi ve taşınabilirlik problemi gibi diğer etkenler ultrasonik parmak izi toplama yönteminin tercih edilebilirliğine negatif yönde etki etmektedir.

Termal yöntemlerle parmak izi ediniminde, sıcaklık ölçümlerini kullanarak parmak izi görüntüleri oluşturur [59, 60]. Termal parmak izi toplama yönteminde kullanılan sensörler, kızılötesi kameralarda kullanılanlarla aynı türden bir piroelektrik malzemeden yapılmış plaka dizilerine sahiptir. Parmak sensöre dokunduğunda, parmağın çıkıntıları sensör yüzeyine temas eder ve sıcaklık ölçülür (Şekil 3.3b). Parmak izi görüntüsü daha sonra sırtlardaki deri sıcaklığının ve vadilerdeki ortam sıcaklığının ölçülmesine dayalı olarak oluşturulur. Termal parmak izi ediniminde kullanılan cihazda oluşabilecek aşınma ve yıpranma, kirlenmeye ve sıcaklık değişimlerine karşı hassasiyet parmak izi görüntü oluşumunda büyük problemlere yol açabilmektedir.



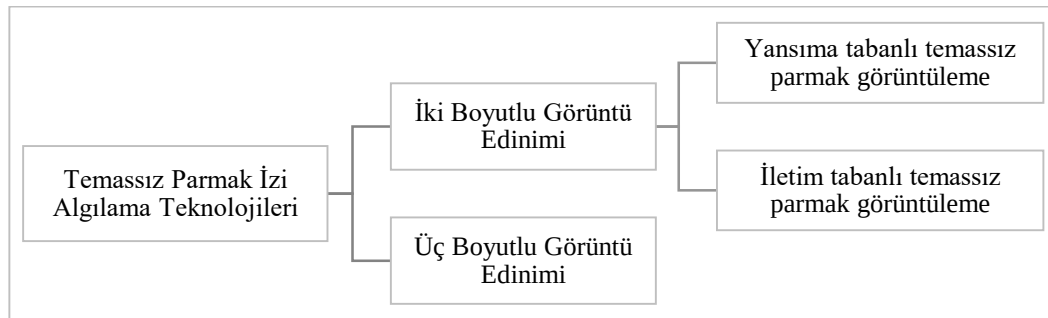
Şekil 3.4. Basınç temelli yöntem kullanarak parmak izi edinimi [60]

Parmak izi algılama teknolojileri arasında yukarıda bahsedilen yöntemlere göre yakın zamanda ortaya çıkan bir kategori ise basınç temelli algılama yöntemleridir [59, 60]. Basınca

dayalı veri ediniminde, mekanik stres uygulandığında elektrik sinyali üretebilen ince film malzemeleri kullanılmaktadır. Sensör yüzeyi, çok ince ve esnek, iletken olmayan (dielektrik) bir malzemedendir yapılmıştır (Şekil 3.4). Sensör üzerine bir parmak yerleştirildiğinde, çıkıntılar ve çukurlar yüzeye farklı seviyelerde basınç uygulamaktadır. Parmak yüzeyinin oluşturduğu bu basınç değişimi, ölçülebilen ve bir parmak izi görüntüsü oluşturmak için kullanılabilen değişken miktarda akımın üretilmesine sebep olur. Basınca duyarlı sensörler küçük boyutlarda tasarlanabilmekte ve elektronik cihazlara kolayca entegre edilebilmektedir. Bu nedenle bu sensörler taşınabilir cihazlarla uyumlu bir şekilde geliştirilebilmektedir. Ayrıca, basınç temelli parmak izi edinim yöntemleri veri toplama aşamasında, parmak yüzeyinin kuru, ıslak veya nemli olması gibi durumlardan etkilenmemektedir.

3.3.2. Parmak izinin temassız edinim yöntemleri

Temassız (touchless, contactless) parmak görüntüleme esas olarak, parmak derisi ile algılama yüzeyi arasında hiçbir temas olmaksızın sırt-vadi yapılarını yakalamak için kullanılan bir uzaktan algılama teknolojisidir [61]. Temassız veri edinimi, temasa dayalı teknolojilere özgü sorunları büyük ölçüde azaltabilmek amacıyla geliştirilmiştir.

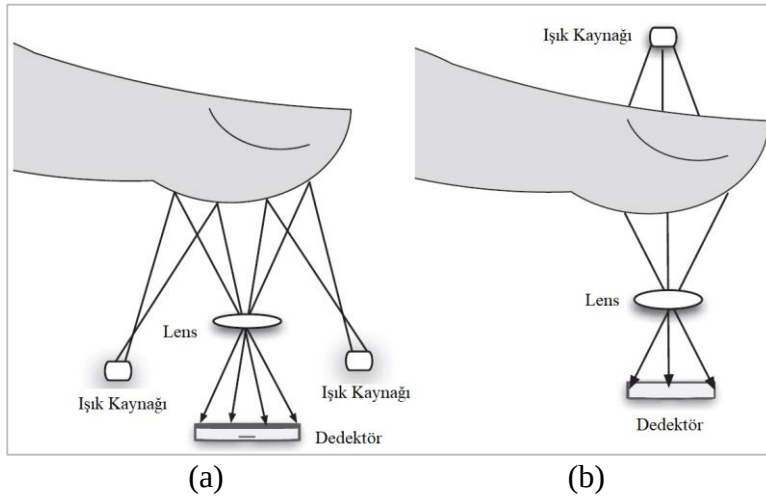


Şekil 3.5. Parmak izinin temassız ediniminde kullanılan yöntemler

Temassız parmak izi algılama teknolojileri iki ana kategoride incelenmektedir: yansıma tabanlı temassız parmak izi görüntüleme (reflection-based touchless finger imaging-RTFI) ve iletim tabanlı temassız parmak görüntüleme (transmission-based touchless finger imaging-TTFI) [61]. Yansıma tabanlı temassız parmak görüntüleme yaklaşımının temel çalışma mekanizması Şekil 3.6a'da gösterilmiştir. Işık kaynakları, parmağın önüne yerleştirilerek parmak yüzeyi aydınlatılır. Parmak izini oluşturan sırtlar ve vadiler arasında

iyi bir ayırım yapmak ve bu yapılar arasındaki kontrastın yeterli olduğu bir görüntü elde etmek için, parmak yüzeyine çarpan ışığın az miktarının emilmesi, büyük miktarının dedektöre geri yansıtılması, vadiler ile sırtların absorbe ettiği ışık miktarının farklı olması gerekir [15, 62]. RTFI yönteminin çalışma mekanizmasında yer alan aydınlatıcılar, dedektörler, lensler ve tüm bu bileşenlerle parmağın etkileşime girdiği veri edinim ortamı, sırt-vadi modelinin kontrastı yeterince yüksek olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu sebeple RTFI mekanizması tasarlanırken; görüntülemeye kullanılan kameranın odak derinliği ve görüş alanı, aydınlatma kaynağının dalga boyu/yoğunluğu/konumu/açısı, dedektörlerin deklanşör hızı gibi parametreler doğru seçilmelidir [61].

Bir diğer yaklaşım olan iletim tabanlı temassız parmak görüntülemeye ise, parmak ışık kaynağı ile dedektör arasına Şekil 3.6b'deki gibi yerleştirilir. Böylece ışık parmak yoluyla iletilmekte ve cilt dokusundan geri saçılan ışık optik koherens tomografi prensibine benzer bir yapı ile yakalanarak dedektörde toplanmaktadır. Bu yaklaşımda, seçilen ışığın dalga boyu cilt dokusundan maksimum geçirgenlik oranına karşılık gelmelidir. Bu sayede parmağa nüfuz eden ışık parmak dokusundan geçerek dedektörde toplanabilmektedir. TTFI hem yüksek maliyeti bir teknolojidir hem parmağın doğal yapısından kaynaklanan eğrisellik bu teknolojiyi uygulanabilirlik açısından sınırlandırmaktadır [63].



Şekil 3.6. RTFI ve TTFI kullanılarak temassız parmak izi ediniminin çalışma mekanizması [61]

İki boyutlu örneklerle dayalı biyometrik sistemlerle karşılaştırıldığında, üç boyutlu parmak izi modellerini hesaplayan sistemler daha fazla bilgi ve daha az hatalı veri kullanır. Aslında, kullanılan örnekler, perspektif deformasyonlardan etkilenmeyen üç boyutlu yapılardan

oluşur. Ayrıca, özellik çıkarma ve eşleştirme algoritmaları, tanıma doğruluğunu iyileştirmek için z eksenini ile ilgili ek bilgileri kullanabilmektedir. Bununla birlikte, bu sistemler temassız edinim yöntemleri ile toplanan iki boyutlu görüntülere göre daha karmaşık ve pahalı olan donanımsal altyapı, mekanizma, üç boyutlu yeniden yapılandırma algoritmaları ve veri toplama prosedürleri gerektirir [15]. Temassız edinim yöntemleri ile toplanan üç boyutlu parmak izi modelleri, özel olarak tasarlanmış özellik çıkarma ve eşleştirme teknikleri ile doğrudan kullanılabilir veya temaslı edinim ile toplanan parmak izi örnekleriyle eşdeğer görüntülerine dönüştürülebilir [64, 65].

3.3.3. Temaslı ve temassız edinim yöntemlerinin problemleri

Parmak izi edinimine yönelik kullanılan en yaygın prosedür, bireyin parmağını bir tarayıcı, okuyucu vb. aygıtın plakasına veya algılayıcı yüzeyine yerleştirmesi ya da bu plaka/yüzey üzerinde yuvarlaması veya parmak yüzeyine renklendirici bir madde uygulandıktan sonra parmağın bir kağıt yüzeye bastırılması ya da yuvarlanmasıdır. Her iki durumda da, hat çizgilerinin oluşturduğu baskının aygıt plakası tarafından yakalanması veya kâğıt yüzeye tamamen geçebilmesini sağlamak için belirli bir miktar basınç uygulanması gerekmektedir. Bu basınç parmağın elastik derisinde deformasyona sebep olur ve elde edilen parmak izi görüntüsünde veri kaybı ve/veya hatalı veri oluşumu gözlemlenir. Bu basıncın miktarının ve yönünün kontrol edilmesinin çok zor olması nedeniyle, edinim işlemi her tekrarlandığında, aynı parmak izinin farklı bir baskısı oluşur. Bu durum, bir biyometrik tanımlama/doğrulama sistemindeki karşılaştırma sürecini daha karmaşık hale getirir ve sistemin eşleştirme performansını azaltır. Temaslı edinim yöntemlerinin doğasından kaynaklanan bu deformasyonun haricinde, parmak yüzeyinin aşırı kuru/nemli/ıslak olmasından kaynaklanan deformasyon, parmak yüzeyindeki kesik/yara vb. deri deformasyonları, veri edinimde kullanılan cihazda bir önceki bireyden kalan kalıntı parmak izlerinin sonraki bireyin izi ile karışması, veri edinim cihazından kaynaklanan gürültü, parmağın veri edinim cihazına uygun yerleştirilememesi, veri edinim cihazının yoğun kullanımında performansının azalması ve dayanıklılığının zayıflaması gibi problemler de parmak izi algılama sürecini doğrudan etkilemektedir [62, 66-70].

Parmak izinin teması ile gerçekleşen veri edinim süreçlerinde bahsi geçen problemler sebebiyle, parmak izinin temassız olarak toplanabildiği yöntemler önerilmiştir. Fakat temassız edinim yöntemlerinden biri olan RTFI yaklaşımında; kullanılan kameralarla

toplanan parmak izlerinde sırt çizgileri ve vadi çukurları arasındaki düşük kontrast, arka plan gürültüsü, ortamın aydınlatma standartlarının farklılığı, alan derinliği sorunu, hareket bulanıklığı, odaklanamama ve bu yaklaşım kullanılabilmesi için karmaşık tasarım aşamalarına sahip bir veri edinim düzeneğine ihtiyaç duyulması gibi temassız veri edinimine özgü yeni problemler ortaya çıkmıştır [62, 66-70]. Temassız edinim yöntemlerinden bir diğeri olan TTFI yaklaşımında ise, kullanılan ultrasonik cihazların büyük boyutları, yüksek üretim maliyetleri ve bu cihazlar kullanılarak parmak izinin toplanmasında geçen sürenin uzun olması sebebiyle, bu yaklaşımın tercih edilebilirliği düşüktür. Sonuç itibarıyla, temaslı yöntemlerin problemlerine çözüm önerisi olarak ortaya çıkan temassız edinim yöntemleri harici problemleri de beraberinde getirmiştir.

Tez çalışması kapsamında temassız edinim yöntemlerinden kaynaklanan problemlerin üstesinden gelebilecek bir veri toplama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile alakalı detaylı açıklamalar takip eden alt başlıkta detaylı olarak açıklanmıştır.

3.4. MAFIS için Parmak İzi Algılama ve Geliştirme Prosedürünün Belirlenmesi

Günümüzde akıllı telefonların büyük bir kısmına renkli çekim yapabilme özelliğine sahip kameralar entegre edilmiştir. Bu kameralar, profesyonel bir fotoğraf makinesinde olduğu gibi yüksek çözünürlük, otomatik odaklanma, makro çekim yapabilme vb. gibi yoğun işlem gücü gerektiren karmaşık işlevleri yerine getirebilme yeteneklerine sahiptir. Bahsi geçen özellikler ve buna ek olarak kullanım kolaylığı ve uygun maliyeti göz önünde bulundurulduğunda, akıllı telefonlar temassız parmak izi edinimi için alternatif bir ortam olarak kabul görmüştür.

Bu bölümde, parmak izinin temassız edinim yöntemleri kullanılarak algılandığı ve geliştirildiği akademik çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve özetlenmiştir (Çizelge 3.2). Tez çalışması kapsamında, parmak izi edinimi için önerilen ortamın tasarlanması ve parmak izi algılama, toplama ve geliştirme aşamalarında elde edilen verilerin kullanılabilmesi için uyulması gereken standartlara yer verilmiştir.

Çizelge 3.2. Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmalar

Kay.	Kullanılan Cihaz	Karşılaşılan Problemler	Ortam Koşulları	Görüntüleme Mesafesi	Işık Kaynağı	Görüntüleme Aparatları	Veri Tabanı	Başarı Oranları
[62]	Monokrom CCD kamera	Sırt-vadi çizgileri arasındaki düşük kontrast/ alan derinliği/ hareketten kaynaklanan bulanıklık/ arka plan gürültüsü/ aydınlatma	Standart	Sabit	Halka mavi led	Mavi Filtre	-	-
[66]	Canon PowerShot Pro1	Sırt-vadi çizgileri arasındaki düşük kontrast/ alan derinliği/ hareketten kaynaklanan bulanıklık	Standart	Sabit	Beyaz ışık	Canon L serisi lens	-	%95.44 doğru çekirdek noktası tespiti
[68]	Nokia X6/ HTC HD2	Sırt-vadi çizgileri arasındaki düşük kontrast/ aydınlatma/ parmak ve kamera arasındaki mesafe ve yön	Standart değil	Sabit değil	Gün ışığı	K	1 parmağa ait 8 örnek	-
[71]	Canon PowerShot Pro1	Odaklanma/ bulanıklık/ aydınlatma/ alan derinliği/ veri boyutu	Standart	Sabit	Beyaz ışık	Canon L serisi lens	1030 Pi	EER: %5.63
[72]	Nokia N95/ HTC Desire	Odaklanma/ parmak ve kamera arasındaki mesafe/ görüntü kalitesi/ aydınlatma/ arka plan gürültüsü/ geometrik bozulmalar	Standart	Sabit	Flaş	K	1320 Pi	EER: %4.5
[73]	Kamera (özellikleri verilmemiş)	Aydınlatma/ ışığın dalga boyu, şiddeti, yönü ve açısı/ polarizasyon	Standart değil	Sabit	Kırmızı, yeşil, kızıl ötesi, mavi led	K	8 Pi	FAR: %0.001 için 6/8 örnek eşleşme oranı
[74]	Microsoft LifeCam VX-1000	Aydınlatma/ görüntü kalitesi/ arka plan gürültüsü/ bulanıklık/ odaklanma	Standart değil	Sabit	Lamba	K	150 Pi	EER: %0.047
[75]	Akıllı telefon	Özellik barındıran bölgenin seçimi/ aydınlatma	Standart değil	Sabit	B	K	FVC 2004 veri tabanı	EER: %6-15
[76]	PDA	Segmentasyon/ odaklanma/ bulanıklık/ rotasyon	Standart değil	Sabit değil	Nokta ışık kaynağı	Lens	1320 Pi	EER: %3.02
[77]	Microsoft/ Philips web kameraları	Sırt-vadi çizgileri arasındaki düşük kontrast/ aydınlatma	Standart değil	Sabit	Led	K	400 Pi	FAR: %0.18 FRR: %10.29
[78]	Nokia N8/ iPhone 4/ Samsung S1	Arka plan gürültüsü/ segmentasyon/ çözünürlük/ rotasyon/ ölçkleme	Standart değil	Sabit değil	B	K	1800 Pi	EER: %3.74

Pi= Parmak izi B=Belirtilmemiş K=Kullanılmamış

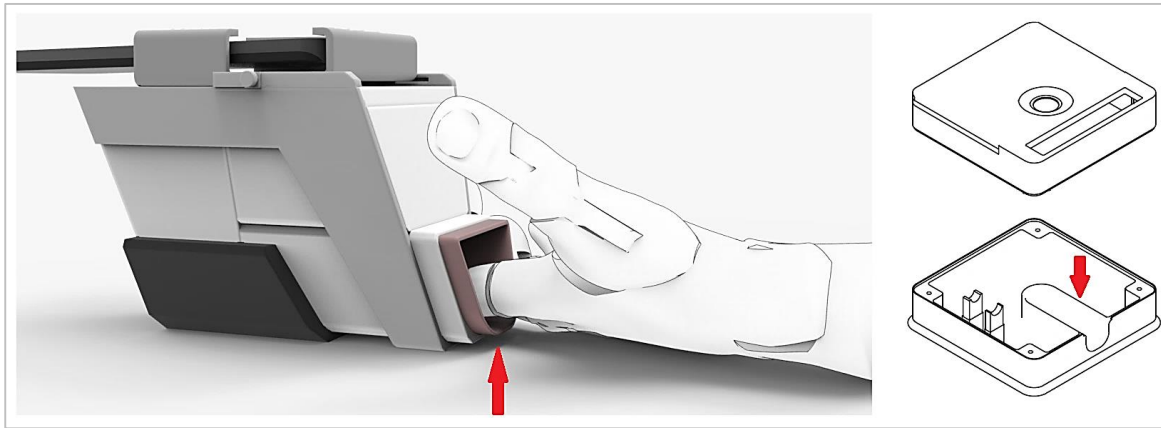
Çizelge 3.2. (devam) Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmalar

Kay.	Kullanılan Cihaz	Karşılaşılan Problemler	Ortam Koşulları	Görüntüleme Mesafesi	Işık Kaynağı	Görüntüleme Aparatları	Veri Tabanı	Başarı Oranları
[79]	UI-3013XC kamera	Aydınlatma/ çözünürlük/ bulanıklık	Standart değil	Sabit değil	Led	K	96 Pi	Sonuçlar ROC eğrisi grafiği ile gösterilmiştir. EER: %3-10
[80]	IPhone 5s	Arka plan gürültüsü/ segmentasyon/ aydınlatma	Standart değil	Sabit değil	Flaş led	K	5100 Pi	EER: %7.4
[81]	Xiaomi Redmi Note 3 Pro	Aydınlatma/ çözünürlük	Standart değil	Sabit değil	Flaş led	K	200 Pi	EER: %7.4
[82]	Apple iPhone 5, 5C, 6, 6S/ Samsung Galaxy S4, S5, S6	Sırt-vadi çizgileri arasındaki düşük kontrast/ aydınlatma/ odaklanma	Standart değil	Sabit	Flaş led	K	1400 Pi	Eşleşme oranı: %98.6
[83]	Samsung Nexus S/ Galaxy Nexus	Alan derinliği/ odaklanma/ çözünürlük/ parmağın oryantasyonu, açısı ve pozisyonu/ aydınlatma	Standart değil	Sabit	Led	K	1494 Pi	EER: %19.1
[84]	Samsung Galaxy Nexus/ Galaxy S3	Parmağın pozisyonu ve kameraya olan mesafesi/ hat çizgilerinin yoğunluğu/ ledten kaynaklanan ışık yansımaları	Standart değil	Sabit değil	Led	K	990 Pi	EER: %3.0
[85]	Mobil telefon	Parmağın pozisyonu ve oryantasyonu/ aydınlatma	Standart değil	Sabit değil	Flaş	K	150 Pi	EER: %3.33
[86]	CMOS kamera	Sırt-vadi çizgileri arasındaki düşük kontrast/ alan derinliği/ arka plan gürültüsü/ aydınlatma	Standart değil	Sabit	Led	K	400 Pi	Sonuçlar ROC eğrisi grafiği ile gösterilmiştir. EER: %2.3-5.3 EER: %0.01-19.6
[87]	iPhone 4/ Samsung Galaxy S/ Nokia N8	Aydınlatma/ segmentasyon	Standart değil	Sabit değil	Flaş/ led/ -	K	2100 Pi	Eşleşme oranı: %93.97 EER: %0.32-3.95
[88]	Web kamerası	Çözünürlük / aydınlatma	Standart değil	Sabit değil	B	K	1566 Pi	Eşleşme oranı: %93.97 EER: %0.32-3.95
[89]	INTEX IT-305WC kamera	Aydınlatma	Standart değil	Sabit	Led/ -	K	120 Pi	Eşleşme oranı: %93.63

Pi= Parmak izi B=Belirtilmemiş K=Kullanılmamış

3.4.1. Veri edinim ortamının tasarlanması

Akıllı telefonlar doğrudan biyometrik veri edinimi için tasarlanmadığından, bu cihazların parmak izi algılanmasında ve geliştirilmesinde kullanılabilmesi için yeni bir veri edinim ortamının tasarlanması gerekmektedir. Temaslı yöntemlerle parmak izi toplama süreci, veri edinim cihazının çalışabilmesi için gerekli ortam şartlarının dışında aydınlatma, ışık, arka plan gibi fiziksel koşullarından etkilenmemektedir. Fakat aynı durum temassız edinim yöntemleri için geçerli değildir, bu sebeple veri edinim aşamasında parmağın dış etkenlerden etkilenmeyecek bir şekilde izole edildiği bir ortamda veri toplama süreci gerçekleşmelidir. Çizelge 3.2’de incelenen çalışmalarda da görüldüğü gibi, temassız edinim yöntemleri ile toplanan parmak izinin en büyük problemlerinden biri parmağın görüntülendiği ortamın arka plan gürültüsünden segmentasyonu, diğeri ise parmak izindeki hat çizgilerinin tespiti için uygun aydınlatma ortamının sağlanamamasından dolayı parmak izi hat çizgileri ile vadi çukurlarının arasında yeterli kontrast oranının oluşturulamamasıdır. Buna ek olarak, temassız yöntemin doğası gereği parmağın herhangi bir yüzey ile ilişkisinin olmamasından dolayı, parmağın oryantasyonundan, pozisyonundan, titremesinden veya hareket etmesinden kaynaklanan, parmağın karakteristik özelliklerinin yoğun olarak bulunduğu ve ilgili bölge (region of interest) olarak ifade edilen kısmın görüntülenememesi de veri edinim aşaması için büyük bir problemidir. Bahsi geçen bu problemleri ortadan kaldırmak veya en azından etkilerini asgariye indirgeyebilmek adına temassız veri edinimini akıllı telefonlarla gerçekleştirebilmek için Şekil 3.7’deki aparat geliştirilmiştir.



Şekil 3.7. Temassız veri edinimi için tasarlanan aparat

Veri edinim için kullanılan bu aparat:

- Parmak görüntüsünün karmaşık arka plan görüntüsünden ayırmak için harici işlem basamakları kullanmamak
- Parmağın pozisyonu, oryantasyonu, hareketi ve açısı gibi konumsal problemleri ortadan kaldırarak parmak yüzeyinden karakteristik özellik çıkarılması için ilgili bölgeyi (ROI) akıllı telefon kamerası ile olabilecek en uygun şekliyle görüntülemek
- Parmak izini oluşturan hat çizgilerinin oluşturduğu şablonunu en iyi şekilde gözlemleyebilmek için, bu şablonu oluşturan vadiler ile sırtların absorbe ettiği ışık miktarı olabildiğince farklı kılabilen bir aydınlatma ortamını tasarlayarak düşük kontrasttan kaynaklı veri kaybının önüne geçmek

için geliştirilmiştir.

Dijital kameralar kullanarak temassız parmak izi elde etmek için geliştirilmiş birçok sistem bulunmaktadır, ancak bu sistemlerin çoğu sabit kameraları ve parmağın yerleştireceği düzeneklerin karmaşık kurulumları bünyesinde barındırmaktadır [15]. Bu kısıtlı ve daha hantal veri edinme yaklaşımlarına alternatif olarak önerilen akıllı telefonlar kullanan veri edinim sistemleri, temassız edinim sistemlerdeki kısıtlamaları azaltmayı hedeflemektedir. Fakat bu esneklik, akıllı telefonlarla toplanan verilerin standardize olamaması ve bu sebeple toplanan veriden bilgi çıkarımı için harici birçok işlem basamağının gerçekleşmesi ile sonlanmaktadır [78, 81, 82, 89]. Çizelge 3.2’de incelenen çalışmaların bir kısmında veri toplama ortamı için özel bir mekanizma geliştirilmiş [62, 66, 71, 72, 76, 83, 84] bir kısmında her türlü ortamda veri toplama imkânı sunan yaklaşımlar önerilmiştir [73, 77-85, 87, 89]. Fakat bu seçimin elde edilen eşleşme başarısına doğrudan etki ettiği görülmüştür. Tüm bu seçenekler göz önünde bulundurularak, tez çalışması kapsamında kullanımı oldukça kolay ve harici kurulum gerektirmeyen, pratik, esnek bir çalışma mekanizmasına sahip ve taşınabilir bir sistem önerilerek veri edinim aşamasının maksimum performans ile tamamlanması amaçlanmıştır.

Temassız veri edinim yöntemlerinin ilk ve en temel problemi toplanan parmak izinin arka plan gürültüsünden ayrıştırılmasıdır. Özellikle arka plan parmak yüzeyine yakın renk tonlarına sahipse, bu ayrıştırma işlemi çoğu zaman başarısız olabilmektedir. Bu sebeple, parmak görüntüsünün toplanması sürecinde, bu işlemi kolaylaştırıcı harici bir yaklaşım tez

çalışması kapsamında önerilmiştir. Veri edinim aşaması için akıllı telefonlarla birlikte kullanılmak için tasarlanan aparat, ışığı yansıtmayan bakalit türü sert malzemeden üretilmiştir. Bu aparatın tüm iç yüzey detayları ve zemini hem ışığın iç kısımda dağılmasına engel olmak hem parmak görüntüsünün arka plandan kolaylıkla ayrışabilmesi için siyah renk ile boyanmıştır. Bu tasarım sayesinde karmaşık segmentasyon basamaklarına gerek kalmadan parmak izi görüntüsü kolayca kayıt altına alınabilmektedir.

Temassız veri edinim yöntemlerinin diğer bir dezavantajı ise parmak görüntüsünün toplandığı ortamın aydınlatılma koşullarının kontrollü olamamasından kaynaklanan problemlerden dolayı toplanan verinin yeterli görüntü kalitesine sahip olamamasıdır. Aydınlatma ortamının iyi tasarlanmadığı veri edinim yöntemlerinde parmak izini oluşturan sırt çizgileri ile vadi çukurları arasında yeterli kontrast farkı yakalanamamaktadır. Bu durumda toplanan parmak izi verisi işlevselliğini kaybetmektedir. Çizelge 3.2’de uygun aydınlatma mekanizmasının nasıl oluşturulacağına dair yapılan çalışmaların yanı sıra, farklı aydınlatma koşulları altında toplanan parmak izinin yeterli olup olmadığına dair çalışmalara da yer verilmiştir. Veri edinim için istikrarlı ve kalibrasyonlu bir aydınlatma ortamının önerildiği çalışmalarda [15, 61, 62, 66, 68, 71-90], parmak yüzeyi ile etkileşime geçen ışığın karakteristik özellikleri incelenerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Kontrolsüz ışık koşulları altında çekilen görüntüler, sırtlar ve çukurlar arasında zayıf kontrastın oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, çoğu temassız veri edinim yöntemini kullanan sistemler, parmak izinin görünürlüğünü iyileştirmek için kontrollü aydınlatma tekniklerini kullanmaktadır. İncelenen çalışmalarda basit ve düşük maliyetli bir aydınlatma ortamı oluşturabilmek için, lamba, led, flaş gibi nokta ışık kaynaklarının kullanıldığı görülmüştür.
- Farklı dalga boylarına sahip ışık kaynakları parmak yüzeyindeki hat çizgileri üzerinde farklı geliştirme sonuçları üretmiştir. Uzun dalga boylu ışınların cilde nüfuz etme eğiliminde olması sebebiyle sırt-vadi modelinin belirginleşmediği yapılan deneysel çalışmalar sonucu gözlemlenmiştir. Bu sebeple, parmak izinin emilimi az olan düşük dalga boylu ışık kaynakları kullanılarak geliştirilmesi daha uygun olmaktadır.
- Aydınlatma kaynağının konumu parmak izi görüntüsüne doğrudan etki etmektedir. Sadece belirli bir noktadan aydınlatma işlemi gerçekleştirilirse parmağın gölgesi oluşabilir ve bu durum sırt deseninin görünürlüğünü azaltır veya belirli bir noktadan yüksek şiddetli bir aydınlatma parmak yüzeyinde parlamaya sebebiyet verir ve buna

bağlı olarak ışığın vurduğu bölge aşırı parlak olacağından özellik çıkartılamaz hale gelir. Buna ek olarak, noktasal ışık kaynakları kullanıldığında, parmak yüzeyinin dışında kalan bölge (iz deseni ile iç içe geçen arka plan bölgesi) muntazam bir şekilde aydınlatılamadığı için, arka plan segmentasyonunda sorunlarla karşılaşmaktadır.

- Işık kaynağı ile aydınlatılan parmağın görüntüsü, parmak yüzeyine çarpıp sonrasında yansıma yapan ışıklar sayesinde oluşur. Parmak yüzeyinde farklı kırılma açıları ile yansıma yapan ışınlar sayesinde hat çizgileri arasındaki farklılık gözlemlenmektedir. Görüntülenen parmak izinde en yüksek kontrast değeri elde etmek için ışığın geliş açısı oldukça önemli bir faktördür. İncelenen çalışmalar sonucunda, 45° eğim açısı ile gelen ışınların yüksek kontrast değeri yakalamak için ideal olduğu görülmüştür. Bu sebeple aydınlatma mekanizmasında ışık kaynağının ve akıllı telefonun parmak yüzeyine göre konumlandırılması, bu durum göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir.
- Bir diğer unsur ise kullanılan aydınlatma modelidir. Tek kaynaktan yapılan noktasal aydınlatmalar parmak izi görüntüleme için yeterli ışık ve kontrast değerini sağlayamamaktadır. Bu sebeple, özellikle adli bilimlerde halka aydınlatma modeli parmak izini desenini geliştirmek için tercih edilmektedir.

Temassız edinim yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalardan çıkartılan ve yukarıda maddeler halinde özetlenen sonuçlar göz önünde bulundurularak, tez çalışması için tasarlanan aydınlatma yaklaşımı Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Tez çalışmasında geliştirilen aparat arka plan gürültüsünü ortadan kaldırmakla birlikte, ortam koşullarından kaynaklanan aydınlatma farklılıklarının da önüne geçmiştir. Ortamdan bağımsız bir aydınlatma yaklaşımı ile veri edinim ortamı standardize edilmiştir. Buna ek olarak, veri edinimi için farklı dalga boylarındaki ışık kaynakları test edilmiş ve sarı ışık kaynağı kullanılarak yeterli kontrast değerine erişilmiştir. Son olarak, adli bilimlerde yaygın olarak kullanılan halka modeli aydınlatma ile noktasal ışık kaynakları halkasal konumlandırılmıştır. Bu yerleşim biçimi sayesinde ışınların uygun açıda gelişi, yeterli şiddeti ve buna bağlı olarak maksimum kontrast değeri sağlanmıştır.

Veri edinim ortamının tasarlanmasında dikkat edilen en son unsur ve aynı zamanda geliştirilen aparatın sunduğu bir fırsat, parmağın yerleştirilmesi için destek mekanizmasının sunulmasıdır. Parmak hareketinin olasılığını azaltmak, parmağın oryantasyonu ve rotasyonunu kalibre edebilmek adına birçok temassız veri edinimi yönteminde harici bir sabitleme mekanizması kullanılmaktadır [51, 61, 62]. Fakat bu mekanizmalar temassız veri

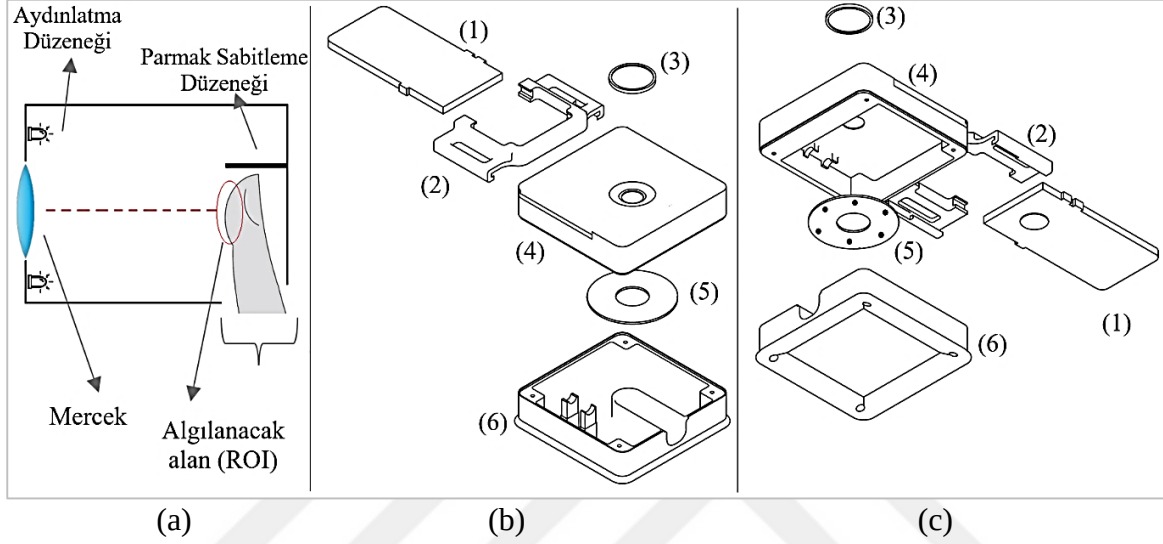
edinim temelli çalışan sistemi hantallaştırmakta ve temel hedefin daha portatif sistemler üretmek olduğu yaklaşımlar için cazip görülmemektedir. Bu sebeple keskin bir sabitleme mekanizması kullanılması yerine, parmağın uygun yerleşim kalibrasyonu ayarlayabilmek adına geliştirilen aparatta destekleyici bir tasarım unsuru eklenmiştir. Şekil 3.7 de kırmızı okla gösterilen kısım; parmağa alt taraftan destek vermek, parmağın konumunu akıllı telefonun konumu ile hizalamak ve parmağın sağa-sola rotasyonunu engellemek adına aparata eklenmiştir. Temassız edinim sürecinde bireyden kaynaklanan problemleri asgariye indirmek, elin titremesi veya hareketinin önüne geçmek ve konumsal problemleri ortadan kaldırmak adına geliştirilen aparat tasarımına eklenen kavisli yapı, veri toplama ortamını daha istikrarlı hale getirmiştir.

3.4.2. Veri edinim standartlarının belirlenmesi

Temassız parmak görüntülerini yakalamak için kullanılan edinim kurulumlarını karakterize eden en önemli faktörler, parmağın konumlandırılması için desteklerin kullanılması, benimsenen optik konfigürasyon ve aydınlatma tekniğidir. Veri edinim ortamı tasarlanırken, parmağın doğru konumlandırılması ve uygun aydınlatma modeli geliştirilen aparat ile sağlanmıştır. Kontrol edilmesi gereken son husus ise, parmak görüntüsünü biyometrik özellik çıkarımı için gerekli kriterleri sağlayacak şekilde toplayabilmektir. Çizelge 3.2’de yer alan çalışmalar ve bunun yanı sıra temassız edinim yöntemlerinde optik konfigürasyonu konu alan diğer çalışmaların incelenmesi sonucunda, parmak izi görüntüleme sürecinde karşılaşılan problemler tespit edilmiş ve bunlar aşağıda özetlenmiştir [51, 61, 62, 66, 68, 71-89, 91, 92]:

- *Alan derinliği (deep of field)*: Görüntülemeye kullanılan merceğin alan derinliği dikkate alınarak, parmağın konumunun bu merceğin ayarlanmış odağına uygun olacak şekilde belirlenmesi ile ilgili ölçümdür. Parmak, merceğin ayarlanmış odak mesafesinden daha yakın veya daha uzağa yerleştirildiğinde, görüntü bulanıklaşır ve hem çözünürlük hem kontrast düşer.
- *Odak derinliği (deep of focus)*: Parmak aynı konumda kalırken görüntüleme cihazı hareket ettirildiğinde lensin odak kalitesinin nasıl değiştiği, bu değişime ne kadar tolerans gösterdiği ile ilgili ölçümdür. En iyi odağın elde edilebilmesi için görüntüleme cihazı ile lensin arasındaki pozisyonun belirlenmesi gerekmektedir.

- **Bulanıklık:** Parmak yerleştirme için desteklerin kullanılması ve parmak hareketlerinin olasılığını azaltmak için edinim kurulumunun kalibre edilmesi ile ilgili ölçümdür.
- **Çözünürlük:** Tüm görüntüyü oluşturan piksel sayısı çözünürlük olarak ifade edilir. Görüntüdeki piksel sayısı ne kadar fazlaysa görüntü çözünürlüğü o kadar yüksek ve iyi olur.



Şekil 3.8. MAFIS için geliştirilen veri toplama aparatının çalışma düzeneği (a), patlatılmış görüntüsünün üst (b) ve alt perspektiften görüntüsü (c)

Bahsi geçen bu sorunların üstesinden gelmek için temassız parmak izi edinim yöntemlerde kullanılmak üzere tasarlanmış, hem veri toplama ortamını hem toplanan verinin spesifikasyonlarını standart hale getirmek amacıyla tez çalışması kapsamında geliştirilen aparatın tasarımına dair detaylar Şekil 3.8’de gösterilmiştir. MAFIS için geliştirilen aparatın çalışma mekanizması aşağıda özetlenmiştir:

- Başlık 3.4.2’de daha detaylı olarak belirtildiği gibi, parmak görüntüleme esnasında hem arka plan görüntüsünden hem ortamın aydınlatma koşullarından etkilenmemek adına, ışık geçirmez bir karanlık oda tasarlanmıştır. Tasarlanan bu prototip sayesinde arka plan segmentasyonuna gerek kalmaz.
- Parmak yüzeyi halka aydınlatma modeli kullanılarak aydınlatılmış ve dış ortamdan gelen ışığın kutunun içerisine girmesi önlenerek, parmak izini oluşturan sırt-vadi şablonunun maksimum kontrastta görüntülenmesi sağlanmıştır. Buna ek olarak, farklı aydınlatma koşulları sebebiyle parmak görüntüsünde oluşan aşırı parlamalar, gölgeli alanlar ve yansımalar gibi problemlerin önüne geçilerek veri kaybı asgariye indirilmiştir.

- Parmak izi eşleştirmesinde kullanılan önemli özelliklerin çıkarılabilmesi için sırt-vadi modelinin kontrastı yeterince yüksek olmalıdır. Görüntüleme cihazları, aydınlatıcılar ve lensler, bu kontrast değerini maksimum yapabilecek şekilde konumlandırılmıştır. Parmağın, merceğin, aydınlatma düzeneğinin aparat içindeki konumları Şekil 3.8a'da gösterilmiştir. Şekil 3.8b ve Şekil 3.8c'de gösterilen 1 nolu parça akıllı telefonu, 3 nolu parça makro lensi, 5 nolu parça aydınlatma düzeneğini temsil etmektedir. Şekil 3.8b ve Şekil 3.8c'de gösterilen 2 nolu parça akıllı telefon ile temassız veri toplama aparatının birbirine bağlantısını sağlamaktadır. Şekil 3.8b ve Şekil 3.8c'de gösterilen 4 ve 6 nolu parçalar birbirlerine geçerek parmağın görüntülendiği karanlık odayı oluşturmaktadır.
- Alan derinliği dikkate alınarak parmak görüntüsü lens ile uygun mesafeye yerleştirilmiştir.
- Odak derinliğini ayarlamak için görüntüleme cihazı olan akıllı telefon ile lens arasında en uygun mesafe ölçülerek, bu mesafe akıllı telefonun tutturulduğu aparat ile sabitlenmiştir.
- Parmağın konumu sabitlenerek ve deklanşör hızından kaynaklanan problemleri gidermek adına akıllı telefonlar kullanılarak, görüntüde oluşan bulanıklığın üstesinden gelinmiştir.
- Son olarak çözünürlük kalitesini yükseltmek adına makro lens kullanılarak toplanan parmak görüntüsündeki ayrıntı noktalarının tespiti için yüksek kalitede veri toplanması sağlanmıştır.

3.5. Temassız Yöntemlerle Toplanan Parmak İzlerinin İyileştirilmesi

Geleneksel parmak izi tanıma sistemlerinin ana bileşenleri arasında görüntü elde etme, görüntü geliştirme, özellik çıkarma ve eşleştirme yer alır [5]. Ancak, akıllı telefonların kameraları tarafından çekilen parmak görüntülerinin doğası ve yapısal özellikleri, temassız aygıtlarla elde edilen görüntülerden farklıdır. Bu nedenle, akıllı telefonlarla toplanan parmak görüntülerinden parmak izi baskılarını işlemek için farklı görüntü analizi ve iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır.

Temassız edinim yöntemleri parmak ucundaki sırt yapısının yüksek kontrastlı görüntüsünü üretebilme kapasitesine sahiptir. Buna ek olarak yakaladıkları parmak görüntüsünün arka planı, parmak ucundaki sırt yapısından basitçe ayrılabilen çok düz ve sürekli bir yapıdır. Son teknoloji bir cihaz kullanılarak temassız veri edinimi gerçekleştiğinde üretilen görüntü ile

akıllı telefonlar kullanılarak temassız veri edinimi gerçekleştirildiğinde toplanan parmak görüntüsü arasında, hem veri kalitesi açısından hem parmağın görüntülediği arka plan ve çevresel ışık faktörü açısından ciddi farklar bulunması sebebiyle, kullanılan görüntü iyileştirme yaklaşımları da çeşitlenmiştir.

Çizelge 3.3’de temassız parmak izi edinim yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda temassız toplanan parmak izlerine uygulanan işlem basamakları detaylı olarak incelenmiştir. Görülmektedir ki; eğer parmak görüntüsü belirli bir veri edinim düzeneğinde toplanmadıysa, arka plandan ilgili parmak bölgesinin ayrıştırılması en meşakkatli süreçtir. Bahsedilen bu veri edinim ortamında, parmak izini arka plandan ayırabilmek adına, parmak dokusunun spesifik bir özelliğini kullanmak en efektif çözüm olmuştur. Bu sebeple, özellikle ortam koşullarından bağımsız parmak görüntüsü toplayıp bu görüntüyü iyileştirmeyi konu alan çalışmaların çoğunda, parmak görüntüsü arka plandan deri rengi tespit algoritmaları ile ayrıştırılmıştır. Bu sayede parmak görüntüsündeki ROI’nin çıkarımı gerçekleştirilmiştir.

Farklı ortam koşullarında toplanan parmak görüntülerinin bir diğer sorunu ise, Başlık 3.4.1’de de yer verilen parmağın hareketi ve pozisyonu, ortamın aydınlatılma şekli, görüntünün kalitesini belirleyen odaklanma ve çözünürlük kriterlerinin istenilen şekilde düzenlenememesidir. Bunun için, çoğu çalışma bahsi geçen bu problemleri ortadan kaldırabilmek için veri edinim düzeneği kullanmayı önerse de, birçok çalışma ise bu seçeneğin temassız edinim yöntemlerinin esneklik özelliğine ters düşeceğini ileri sürmüştür. Tüm bu farklı fikirler göz önünde bulundurularak, hem veri edinim aşamasının esnekliğine ters düşmeyecek hem toplanan verinin kalitesine etki edecek tüm kriterleri sağlayabilecek taşınabilir, kullanımı kolay, tasarımı basit düzeneklerin geliştirilmesine veya mevcutların da iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

İncelenen çalışmalarda görülmektedir ki, temassız edinim ile toplanan parmak görüntüleri için spesifik olarak geliştirilmiş bir iyileştirme yaklaşımı bulunmamaktadır. Bunun yerine, mevcut iyileştirme yaklaşımları modifiye edilerek, birlikte veya belirlenen bir sıra ile uygulanarak ya da ön işleme sürecinde verideki karakteristiksel problemi giderebilecek harici işlem adımları kullanılarak parmak görüntüsü iyileştirilmiştir.

Çizelge 3.3. Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmaların veri iyileştirme prosedürleri açısından incelenmesi

Kay.	Amaç	Önerilen Yaklaşım	Kullanılan Teknik ve Yöntemler	Öneriler
[62]	Temassız veri edinim yöntemlerinin odaklanma, sırt-vadi şablonu arasındaki düşük kontrast, 3B-2B dönüştürme problemlerini gidermek	1. Veri edinim sürecinden kaynaklanan bulanıklık ve düşük kontrast sorunlarını gidermek ve süreci standart hale getirebilmek için bir veri toplama düzeneği geliştirmek 2. Mevcut iyileştirme algoritmanın uygulama adımlarında değişiklikler yaparak yeni çözümler üretmek	Blok tabanlı normalizasyon/ Gabor filtreleme	1. Dokunmaya dayalı veri edinim sistemi ve önerilen temassız sistem ile toplanan veriler arasında performans değerlendirmelerinin yapılması gerekmektedir. 2. Önerilen yaklaşımın başarısı mevcut algoritmalarla elde edilen başarılar ile kıyaslanmalıdır.
[66]	Temassız edinim ile toplanan parmak izlerinde kullanılan geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı noktaları gidermeyi yaklaşımlar geliştirmek	1. Veri edinim sürecinden kaynaklanan bulanıklık, alan derinliği ve düşük kontrast algoritmaları/ STFT/ sorunlarını gidermek ve süreci standart hale getirebilmek için bir veri toplama düzeneği geliştirmek 2. Segmentasyon, iyileştirme ve çekirdek nokta tespiti için yeni bir algoritma önermek	Ten rengi algılama Ten rengi kontrast algoritması/ STFT/ çekirdek noktası tespit algoritması	Sadece çekirdek nokta tespiti için elde edilen başarı oranı paylaşılmıştır. Segmentasyon ve iyileştirme süreçlerinden elde edilen başarı ile alakalı bir sayısal sonuç bulunmamaktadır.
[68]	Akıllı telefonlarla temassız yöntemlerle farklı ortam koşullarında toplanan parmak izinin biyometrik sistemde kullanılabilirliği ölçümlemek	Çalışma kapsamında belirlenmiş bir SDK'nın farklı ortam koşullarında (aydınlıkta, parmak-telefon arasındaki mesafe, arka plan, lens kullanımı) toplanmış parmak izlerini analiz edip edemediği üzerine bir inceleme yapmak	VeriFinger-SDK	1. Temassız veri edinim sürecinde bir düzenek kullanılarak toplanan parmak izleri ile ortam koşullarını standart hale getirmeden toplanan parmak izlerini kıyaslayarak önerilen çalışmadan elde edilen sonucu detaylandırılmıştır. 2. Önerilen bir yaklaşım veya yeni bir bakış açısı sunulmamıştır.
[71]	Temassız veri edinimi yöntemleri ile toplanan parmak izlerinin ön işleme süreçlerini gerçekleştirmek	Temassız veri edinimi yöntemleri ile toplanan parmak izleri için segmentasyon, iyileştirme ve çekirdek noktası tespiti için yeni bir yaklaşım önermek	Ten rengi algılama Ten rengi kontrast algoritması/ çekirdek noktası tespit algoritması/ PCA/ Gabor filtreleme	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.
[72]	Cep telefonu kamerasının kararlı bir veri toplama ortamında iyi kaliteli örnekler ve buna karşılık gelen iyi biyometrik performans üretip üretemeyeceğini araştırmak	Temassız toplanan parmak izlerindeki görüntü kalitesi, aydınlıkta yöntemi, arka plan, geometrik bozulmalar gibi problemlerin tolere edilebilirliği farklı SDK'lar kullanılarak gözlemlenmek	VeriFinger-SDK	1. Başka parmak izi eşleştiriciler kullanılarak elde edilen sonuçlar eklenebilir. 2. Farklı ortam koşullarında toplanan verinin analizi yapılırken, ortam koşulları oluşturan kriterlerin tek başına etkileri ölçümlemeli ve sonuçlar sınıflandırılmalıdır.

Çizelge 3.3. (devam) Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmaların veri iyileştirme prosedürleri açısından incelenmesi

Kay.	Amaç	Önerilen Yaklaşım	Kullanılan Teknik ve Yöntemler	Yorumlar
[73]	Farklı aydınlatma koşulları altında gerçekleştirilen parmak izi görüntüleme sonuçlarını göstermek	Sırt-vadi şablonunu maksimum kontrastla görüntüleyebilmek için uygun aydınlatma modelinin parametrelerini araştırmak	VeriFinger-SDK	Amaç farklı ortam senaryolarında ve farklı veri toplama düzeneklerinde toplanan örneklerin özellik çıkarımı için performansın değerlendirilmesi olması sebebiyle daha büyük veri seti üzerinde çalışılmalı eşleşme oranları da buna göre ölçülmelidir.
[74]	Düşük maliyetli kameralar tarafından elde edilen görüntülerde görüntü işleme parmak izi hat için çizgilerini tespit etmek için yenilikçi bir yöntem sunmak	Temassız veri edinim yöntemleri ile toplanan parmak izi görüntülerine benzer görüntüler üretmek için algoritması/ Wiener filtreleme	Lucy-Richardson	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.
[75]	Temassız ve temassız veri edinim yöntemleri için toplanan görüntülerle kolayca eşleştirilebilecek yeni bir ön parmak izlerini işleme yaklaşımı önermek	Akıllı telefonlardan parmak görüntülerini yakalamak için yeni bir yöntem ve bunları optik sensör toplanan görüntüleriyle kolayca eşleştirilebilecek yeni bir ön parmak izlerini işleme yaklaşımı önermek	CLAAHE/ Gabor filtreleme/ Source AFIS	Elde edilen başarı oranları, özellik çıkarımı ve eşleştirme performansı açısından önerilen yaklaşımın geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.
[76]	Temassız veri edinim yöntemlerinde kullanılmak üzere uygun parmak izi görüntüsünü seçmek	Parmak izinin pozisyon tahminlemesi ve kalite kontrolü için, odak ölçümlemesi kullanılarak uygun parmak izi görüntüsünün seçimini gerçekleştiren yöntem geliştirmek	Odak ölçüm algoritması/ Half-Gabor filtreleme/ VMLOG metodu	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.
[77]	İki faktörlü kimlik doğrulama kullanarak dijital kimlik yönetimine izin veren orijinal bir sistem tasarlamak	Biyometrik kullanıcı kimlik doğrulaması ile düşük maliyetli dijital kimlik yönetimini uygulamak için orijinal bir sistem tasarlamak	Gamma düzeltmesi/ yönlü fourier filtresi/ NFIQ algoritması	Çalışmada kullanılan veri seti yeterli örneğe sahip değildir.
[78]	Tamamen otomatik temassız parmak izi doğrulama yapmak	1. Gerçek hayat senaryoları altında akıllı telefon kameralarıyla yakalanan hassas temassız parmak izi tanıma için yeni bir şema önermek 2. Parmak izi bölgesinin segmentasyonunu yapmak ve parmak ölçkleştirmeyi gerçekleştirmek için yeni bir şema önermek	Wiener filtresi/ Gauss filtresi/ CNS/ PCC/ Fourier spektrumunun büyüklüğü/ dalgacık dönüşümü/ MINDTCT/ BOZORTH3/ Mean Shift segmentasyonu	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 3.3. (devam) Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmaların veri iyileştirme prosedürleri açısından incelenmesi

Kay.	Amaç	Önerilen Yaklaşım	Kullanılan Teknik ve Yöntemler	Yorumlar
[79]	Akıllı telefonlarla biyometrik parmak izi doğrulama/ tanımlama işlemi için temassız parmak algılamak	1. Makine öğrenimi tabanlı bir algoritma ile parmağın algılanması 2. Ten rengi tespiti algoritmasına dayalı geliştirilen yöntem ile algılanan parmak izinin segmentasyonu	Gauss filtreleme/ ACF algoritması/ ten rengi algılama algoritması/ kenar eşleştirme yöntemi	Sunulan yaklaşımın biyometrik doğrulama için uygunluğunu göstermek ve çalışma başarısını ispatlamak adına gerekli başarı ölçüm parametrelerine yer verilmemiştir.
[80]	Parmak görüntüsü çekimi için akıllı telefon kamerasını kullanarak kullanıcı kimlik doğrulaması için uygun maliyetli ve güvenli bir yöntem sağlamak	1. ScatNet özelliğine dayalı yeni bir parmak görüntüsü eşleştirme yaklaşımı önermek 2. Çevresel aydınlatma, arka plan ve canlılık tespiti problemlerini ele alan, akıllı telefon ile toplanmış parmak görüntülerinden oluşan kullanıma açık bir veri tabanı oluşturmak	Medyan filtresi/ histogram eşitleme/ gauss filtresi/ Scatnet	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.
[81]	Farklı ortam koşullarında toplanan parmak görüntülerini doğrulama için kullanabilmek	Faz uyum özelliklerini kullanan ve yeni bir monojenik dalgacık tabanlı dijital olarak toplanmış parmak görüntüsünü geliştirme tekniğini içeren bir parmak izi tabanlı tanıma sistemi önermek	Ten rengi algılama algoritması/ Monojenik dalgacık tabanlı PC/ VeriFinger-SDK	Çalışmada kullanılan veri seti yeterli örneğe sahip değildir.
[82]	Daha yüksek güvenlik gerektiren uygulamalar için ve bir mobil parmak izi sistemi sağlamak	Çoğu akıllı telefonda kullanılabilen, yalnızca arka kamera ve LED flaşla parmak izi baskılarını yakalayan çok parmaklı temassız parmak izi doğrulama sistemi önermek	Otomatik parmak ucu algılama algoritması/ sobel kenar algılamaya dayalı odak kontrol algoritması/ Otsu algoritması/ ten rengi algılama algoritması/ band pass filtreleme/ yerel yoğunluk normalizasyonu	Verimli bir iyileştirme ve eşleştirme yaklaşımı sunmak için çok fazla karmaşık ve işlem gücü gerektiren teknik ve yöntem kullanılmamıştır.
[83]	Parmak görüntüsü çekimi için akıllı telefon kamerasını kullanarak kullanıcı kimliği doğrulamak	Kullanıcının çeşitli biyometrik kimlik doğrulama yöntemlerini kullanmasına izin veren bir çerçeveye olan MBASSy kullanılarak geliştirilen uygulama ve güvenilir bir kimlik doğrulama gerçekleştirmek için yeterli kalitede parmak izi toplayabilen bir yöntem önermek	Sobel filtresi/ parmak algılama ve döndürme algoritması/ medyan filtresi/ FingerJetFX	Çalışmada kullanılan veri seti yeterli örneğe sahip değildir.

Çizelge 3.3. (devam) Temassız yöntemler kullanılarak iki boyutlu parmak izi edinimi üzerine yapılan çalışmaların veri iyileştirme prosedürleri açısından incelenmesi

Kay.	Amaç	Önerilen Yaklaşım	Kullanılan Teknik ve Yöntemler	Yorumlar
[84]	Akıllı telefon kamerasıyla bir video akışında birden fazla parmak fotoğrafı çekmek için yeni bir yaklaşım ve bu görüntüleri parmak izi tanıma için işlemek	1. Kısa bir zaman aralığında bir biyometrik örneğin birden çok örneğini yakalamak için uygun ve verimli bir yol sunan teknik geliştirmek 2. Video içeriğinden parmağın tespitini, segmentasyonunu ve iyileştirilmesini sağlayan algoritma geliştirmek 3. Parmak izi tanıma sürecinde sahtecilik (spoof) ataklarına karşı koruyacak bir yaklaşım önermek	Segmentasyon / ten rengi algılama algoritması/ ölçekleme / görüntü kırpması / MorphoLite SDK	Verimli bir iyileştirme ve eşleştirme yaklaşımı sunmak için çok fazla karmaşık ve işlem gücü gerektiren teknik ve yöntem kullanılmıştır.
[85]	Kimlik doğrulama sistemi geliştirmek	Parmak görüntüsü toplama, otomatik ilgili bölge çıkarımı, geliştirme, özellik çıkarma ve eşleştirme modüllerini içeren sistem önermek	PCA/ adaptif histogram eşitleme/ SURF/	Çalışmada kullanılan veri seti yeterli örneğe sahip değildir.
[86]	Mobil kamera ile çekilmiş bir parmak izi görüntüsünün ön işleme aşamasını gerçekleştirmek	Mobil kameralarla elde edilen parmak izi görüntülerinin özellikleri, temasa dayalı edinim çıktılarından oldukça farklı olduğu için, parmak izi segmentasyonunu ve yön tahminini içeren yeni ve modifiye edilmiş parmak izi ön işleme algoritması geliştirmek	Sobel operatörü kullanan Tenengrad tabanlı ölçümleme/ bölge büyüme algoritması/ gürbüz regresyon yöntemi/ Segmentasyon, ayrıştırma noktası çıkarımı ve eşleştirme algoritması	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.
[87]	Farklı ortam koşullarında toplanan parmak görüntülerini analiz etmek	Akıllı telefon kameraları tarafından yakalanan parmak izi örneklerinin kalitesini gerçek hayat senaryoları altında değerlendirmek için bir yaklaşım önermek	SVM/ PCA tabanlı gradyan yönelim tahmin yöntemi/ blok tabanlı kalite değerlendirmesi	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.
[88]	Kimlik doğrulama sistemi geliştirmek	Çok düşük çözünürlüklü parmak izi görüntüleri kullanarak temassız parmak izi tanımlama araştırılmış ve bu kadar düşük çözünürlüklü görüntüleri eşleştirmek için tamamen otomatik bir yaklaşım geliştirmek	Gabor filtreleme / LRT/ gauss filtreleme	Çalışma daha büyük bir veri seti üzerinde yapıldığı takdirde, seviye-0 özelliklerinin tek başına ayırt ediciliği daha iyi ölçümlenebilir.
[89]	Temaslı edinim yöntemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldıracak bir yaklaşım önermek	Kullanıcının parmağının web kamerasından belirli bir mesafede temas olmadan görüntüsünü yakalayan ve bu görüntüyü erişim sağlamak için kullanılan bir sistem önermek	Anizotropik difüzyon yöntemlerini kullanan coherence filtresi/ Retinex algoritması/ ten rengi algılama algoritması/ gauss filtreleme/ öklid uzaklığı	Çalışmada yeterli değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 3.3’de yer alan çalışmalardaki temel hedef, akıllı telefonlar kullanılarak alternatif bir kimlik doğrulama sistemi geliştirebilmektir. Akıllı telefonların sunduğu taşınabilirlik avantajının biyometrik sistemlere entegrasyonu ile hem bireysel güvenlik ihtiyaçlarının karşılanması hem adli bilimler, kolluk kuvvetleri gibi kritik alanlarda kabul görür bir biyometrik sistemin önerilmesi, temassız parmak izi edinimini konu alan çoğu çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmaktadır.

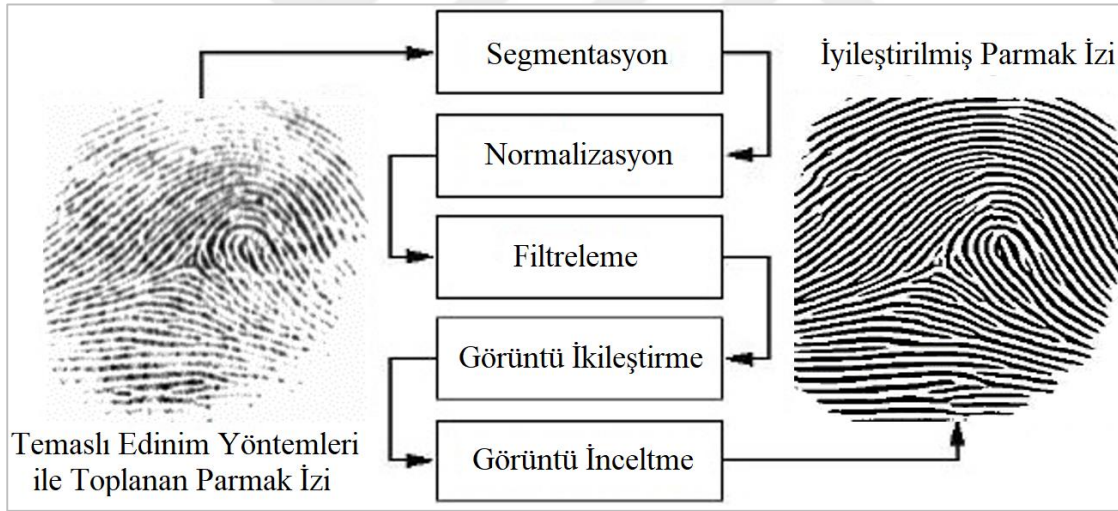
Çizelge 3.3’de incelenen çalışmalardan da görüldüğü üzere, temassız edinim yöntemlerinin temel problemlerini asgariye indirmek adına bir veri edinim düzeneği kurulmadığı takdirde, toplanan parmak izi görüntüsüne daha fazla müdahale gerekmektedir. Öncelikle toplanan verinin çok fazla gürültü içermesi ve sırt-vadi şablonunun düşük kontrastlı olması sebebiyle, piksel tabanlı iyileştirme yöntemleri tek başına yeterli gelmemektedir. Bu sebeple, harici filtreleme yaklaşımları ile hat çizgilerinin sıklıkları ve oryantasyonları tespit edilerek, hat çizgilerine ait şablonun belirlenmesi için uygun iyileştirme süreci tamamlanmalıdır. Bu aşamada, geleneksel yöntemlerle toplanan parmak izinin iyileştirilmesinde kullanılan teknik ve yöntemler uygulanmadan evvel, hat çizgilerindeki kontrastı arttırıcı harici müdahalelerin gerçekleştiği görülmektedir.

Temassız veri edinim yöntemleri kullanılarak toplanan parmak görüntülerinde, eğer görüntü farklı arka planların bulunduğu ortamlarda toplanılmışsa, parmak görüntüsünü arka plan yüzeyinden veya arka planda yer alan objelerden ayırabilmenin en kolay ve verimli yolunun derinin renk piksellerinin yoğunluğuna göre çalışan deri rengi tespiti yöntemi olduğu incelenen çalışmalarda görülmüştür [66, 71, 79, 81, 82, 84, 89]. Özellikle parmak görüntüsünün toplanma aşamasında bir veri edinim düzeneğinin kullanılmasının, temassız yöntemler için kısıtlayıcı bir yaklaşım olarak görüldüğünü iddia eden çalışmalarda (Çizelge 3.3) sıklıkla bu yöntem kullanılmıştır.

Temassız veri edinimi ile toplanan parmak izlerine yapılan ön işleme ve iyileştirme aşamaları dikkate alınarak, tez çalışması kapsamında geliştirilen veri toplamak için kullanılan aparat ile elde edilen parmak izi görüntüleri için en uygun işlem adımları tespit edilmiş ve Başlık 3.6’da önerilen veri iyileştirme prosedürü açıklanmıştır.

3.6. MAFIS için Parmak İzi Ön İşleme Prosedürünün Belirlenmesi

Parmak izi için görüntü işleme prosedürünün amacı, bir insan gözlemci için parmak izi baskılarının görsel görünümünü iyileştirmek suretiyle arttırabilmek ve parmak izini oluşturan özelliklerin/yapıların ölçülebilmesi ve analiz edilebilmesini sağlamaktır. Görüntü işleme piksellerin yorumlanabilirliği arttığı için, parmak görüntüsü iyileştirilerek görüntü kalitesini etkileyen unsurlar ortadan kaldırılır ve istenilen özelliklerin belirginliği arttırılır [93]. İyileştirilecek veri parmak izi olduğunda temel hedef; parmak görüntüsünde parmağa ait olmayan ve gürültü olarak adlandırılan veri parçaları elimine etmek, parmak izini oluşturan sırt çizgilerinin belirginliğini arttırmak, bu çizgilerin kopukluklarını orijinal şablonun yapısını bozmadan birleştirmek veya doldurabilmek, sırt çizgileri ve vadi çukurlarının arasındaki kontrastı arttırarak şablonu belirginleştirmek, genel bir ifade ile parmak görüntüsünü özellik çıkarımına hazır hale getirebilmektir [93, 94].



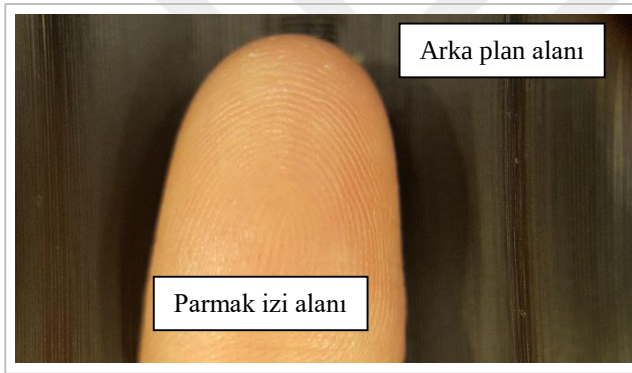
Şekil 3.9. Parmak izi iyileştirme basamakları

Akıllı telefon ile birlikte çalışma kapsamında önerilen aparat kullanılarak bireyden temassız yöntemlerle toplanan parmak görüntüsüne uygulanacak iyileştirme basamakları temaslı edinim ile toplanan parmak izine uygulanan prosedürlerle aynıdır. Veri edinim yöntemindeki farklılık, bahsi geçen bu basamaklarda kullanılan metotların veya basamakların çeşitlenmesine sebep olmuştur. Veri edinim aşamasında da belirtildiği üzere akıllı telefon kullanılarak görüntüsü alınan parmak izine ait sırt ve vadi çizgileri arasında düşük kontrast olması sebebiyle, ön işleme sürecinde kullanılan teknik ve yöntemler bu problemi

giderebilecek şekilde düzenlemiştir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS için bu basamakların nasıl gerçekleştirildiği aşağıda verilen alt başlıklarda açıklanmıştır.

3.6.1. Parmak izinin segmentasyonu

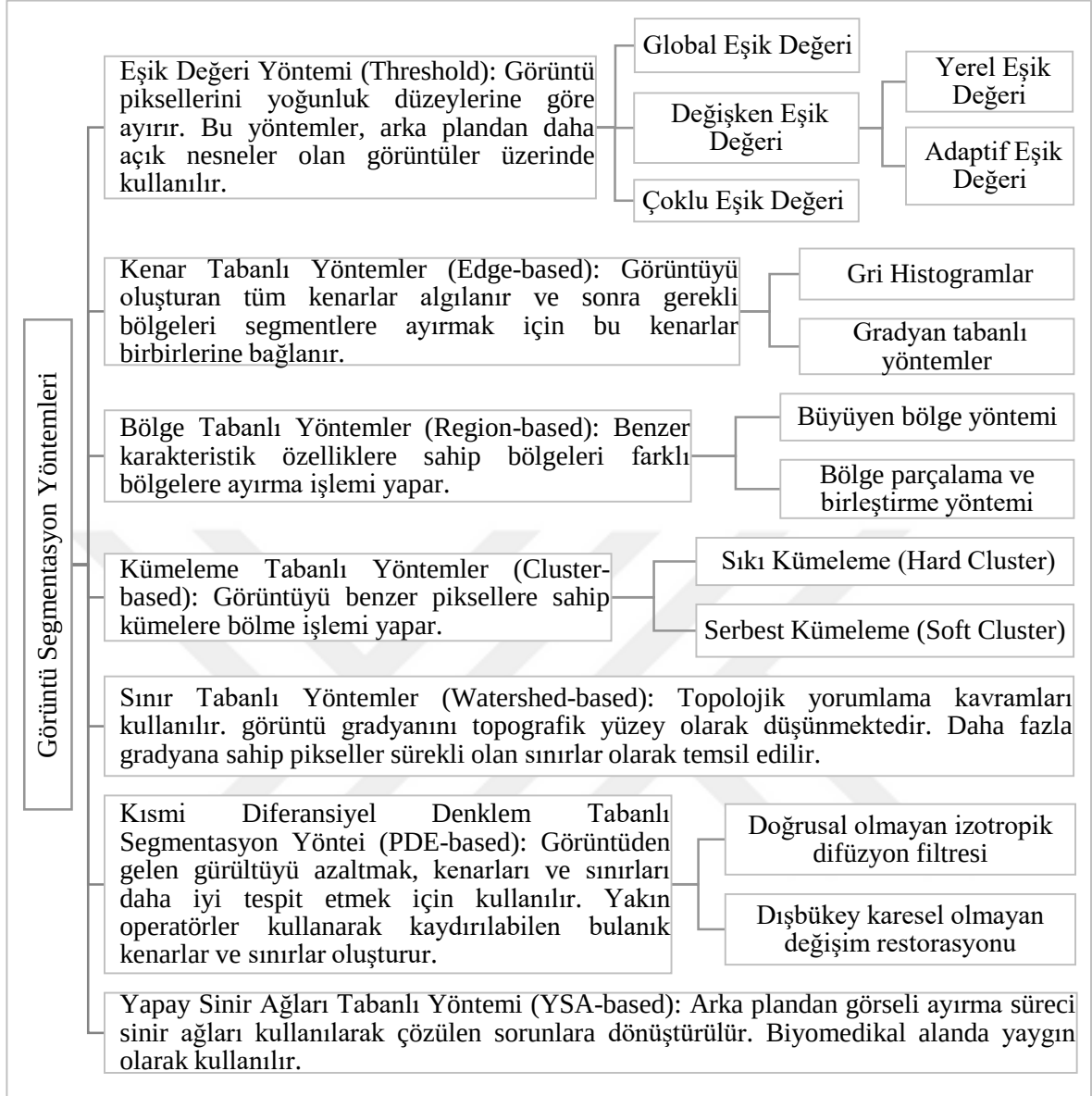
Herhangi bir veri edinim yöntemi ile toplanan parmak görüntüsü iki alandan oluşur: parmağın dokusal yapısının bulunduğu ön plan ve parmağın görüntülediği ortamı içeren arka plan. Ön plan alanı, görüntünün parmak izi çıkıntılarını (sırt, hat) ve oluklarını (vadi, çukur) içeren kısımdır ve bu nedenle parmak izi hakkındaki bilgilerin çoğunu taşımaktadır. Arka plan alanı parmak görüntüsüne ait herhangi bir bilgi içermemektedir. Görüntü ön plan alanını arka plan alanından ayırma işlemi segmentasyon olarak adlandırılır.



Şekil 3.10. Temassız toplanan parmak görüntüsünün ön ve arka plan alanı

Parmak izi görüntü segmentasyonu önemli bir parmak izi işleme adımıdır, çünkü doğru gerçekleştiği takdirde bilgiyi gürültüden ayırmaya hizmet etmektedir. Temassız veri edinim yöntemleri ile toplanan parmak görüntülerinde, veri edinim aşamasında ortam koşullarını kontrol altına alabilecek bir düzenek oluşturulmamışsa, yoğun arka plan gürültüsünü ayıklamak için gerçekleştirilen segmentasyon basamağı görüntü iyileştirme sürecinin en zorlayıcı basamağı olabilmektedir.

Mevcut literatürün kapsamlı bir incelemesi sonucunda, görüntü segmentasyonu için birçok yöntemin olduğu görülmüştür (Şekil 3.11). Fakat tüm bu yöntemler çalışma mantığına göre piksel tabanlı, blok tabanlı ve graf tabanlı yaklaşımlar olarak kategorize edilmektedir [5, 95, 96].



Şekil 3.11. Literatürde segmentasyon için kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması [97]

Piksel tabanlı yaklaşımlarda tüm süreç görüntünün yapı taşı olan her piksel için teker teker gerçekleştirilir. Görüntüye ait piksellerin yoğunluk değerleri hesaplamak için, piksele komşu piksellerin dikdörtgen, kare blok veya belirli bir matrise karşılık gelen piksellerinin analizi yapılarak bir çıktıya varılır. Piksel tabanlı görüntü segmentasyon algoritmaları, görüntünün her pikselinin ön plan alanına veya arka zemin alanına ait olup olmadığını belirleme eğilimindedir. Piksel tabanlı segmentasyonun gerçekleştirildiği yöntemlerde her bir görüntü pikseli ayrı ayrı incelemektedir. Her bir pikseli incelemek daha fazla hesaplama çabası gerektirdiğinden, bu yaklaşım maliyetlidir. Buna ek olarak, piksel tabanlı bir değerlendirme nispeten uzun bir sürede gerçekleşmekte, kullanılan algoritmanın yürütme hızı bu durumdan

olumsuz etkilenmektedir. Sonuç olarak piksel tabanlı segmentasyon yaklaşımları daha yavaş fakat daha doğru sonuç üretmektedir [98]. Piksel tabanlı segmentasyon yaklaşımlarında her pikselin özellik vektörü sınıflandırılır, bu sınıf bölgenin arka plan ya da ön plana ait olduğu belirlir. Literatürde yer alan yerel ortalama, yerel varyans, standart sapma, parmak izi görüntüsünün Gabor cevabı (gabor response) gibi seçilen piksel özelliklerinin kullanılan çalışmalar [95, 99], bu özelliklerin doğrusal sınıflandırıcılar ile birlikte kullanıldığı çalışmalar [100], yapay zekânın [101], derin öğrenmenin [102] ve farklı kümeleme algoritmaların kullanıldığı çalışmalar [103] piksel tabanlı yaklaşımların uygulama alanlarını oluşturmaktadır.

Blok tabanlı segmentasyon yaklaşımları görüntüyü piksel bloklarına ayırarak blok bazında değerlendirme yapmaktadır. Bu tarz bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmasının sebebi, piksel tabanlı yaklaşımla gelen hesaplama maliyetini azaltabilecek alternatif yöntemlerin gerekli oluşudur. Blok tabanlı yaklaşımlar piksel tabanlı yaklaşımlara kıyasla daha hızlı çalışmaktadır fakat ayrışma açısından daha düşük performans üretmektedir [104]. Blok tabanlı segmentasyon yaklaşımında, sırt çizgilerinin yerel histogramı [105, 106], gri seviye varyansı ve görüntünün gradyan büyüklüğü [107], gabor özelliği [108] gibi özellikler blok bazında hesaplanarak segmentasyon gerçekleştirilir [109]. Graf teorisi ve bu teoride yer alan kavramlar, görüntü işlemede birçok farklı alanda karşılaşılan problemlerin çözümü için kullanılmaktadır ve görüntü segmentasyonu da bu alanlardan biridir [110].

Graf tabanlı segmentasyon yaklaşımları görüntüyü graf teorisi açısından modellemektedir. Segmentlere ayrılacak görüntü bir $G = (V, E)$ grafi olarak temsil edilir. Her düğüm (V), görüntüdeki bir pikseli temsil eder. Kenarlar (E) ise düğüme komşu olan belirli bir sayıdaki pikselin birleşmesi ile ifade edilir. Bu şekilde yönsüz ağırlıklı düzlemsel olmayan bir G grafi oluşturulur [98, 111]. Graf tabanlı görüntü segmentasyonu yaklaşımında düğümler, pikselleri, piksel köşelerini (pixel vertices), bölgeleri veya kullanıcı tarafından çizilmiş işaretçileri temsil etmektedir [111]. Literatürde segmentasyon işlemini gerçekleştirmek için kullanılan rastgele yürüteç (random walker), maksimum akış minimum kesim (min-cut/max-flow), Dijkstra, Kruskal, Prim ve MST gibi graf algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar [111], komşu pikseller arasındaki yoğunluk farklılıklarına dayalı araştırmalar [112], sabit eşikler ve yerel ölçümler kullanılarak yapılan çalışmalar [113] graf tabanlı yaklaşımların uygulama alanlarını oluşturmaktadır.

3.6.2. MAFIS için önerilen segmentasyon yaklaşımı

Önerilen aparat ile parmağın bulunduğu arka plan bölgesi siyah bir zemin ile sabitlenmiştir. Karanlık odaya gömülü olan aydınlatma mekanizmasından yayılan ışık hem parmak yüzeyine hem kutunun arka yüzeyine etki eder. Parmak izi ve arka yüzey ışık sebebiyle belirli bir piksel yoğunluğuna ulaşır. Aslında kutunun arka yüzeyi bir piksel yoğunluğuna sahiptir fakat bu değer oldukça düşük olduğu için, bir eşik değeri tespiti yapan fonksiyon ile yüksek piksel yoğunluğuna sahip parmak görüntüsü arka plandan ayrılmıştır.

Eşik değeri yöntemi ile segmentasyonda ana fikir, nesneleri arka plandan ayırabilen bir eşik T seçmektir. Bu eşik, yoğunluk histogramına göre belirlenmektedir. Bir görüntünün histogramı, o değerdeki piksel sayısına karşı gri düzey değerlerini gösterir. Gri seviyesi $f(x, y) > T$ olan herhangi bir piksel ön plan olarak atanır; aksi takdirde piksel arka plan olarak atanır (Eş. 3.1) [114].

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (3.1)$$

Eşik değeri yöntemi ile parmak izi görüntüsü tek bir karşılaştırma parametresi ile bulunduğu ortamdan ayrıştırılmıştır. Parmak görüntüsü için önerilen veri toplama düzeneğinin kullanılması sayesinde hem veri ayrıştırma süreci başarı ile tamamlanarak veri kaybı asgariye indirilmiş, hem segmentasyon için kullanılan çok işlem basamaklı karmaşık yöntemler veya birden fazla yöntemin sıralı biçimde uygulandığı yaklaşımlar kullanılmak zorunda kalınmamıştır. Bu da daha az işlem gücü ve daha yüksek performans anlamına gelmektedir.

3.6.3. Parmak izinin iyileştirilmesi

Parmak izinde bireyi ayırt etmek için kullanılan karakteristiklerin tespitini gerçekleştiren algoritmalar ve bu özellikleri eşleştirmek için geliştirilen algoritmaların performansı, büyük ölçüde parmak izi görüntülerinin kalitesine bağlıdır. İdeal bir parmak izi görüntüsünde, sırtlar ve çukurlar (vadi) yerel olarak sabit bir yönde değişmekte ve akmaktadır. Bu sayede, sırt-vadi yapısının oluşturduğu modelde Seviye 1-2-3 karakteristikler kolayca tespit edilebilmektedir. Fakat veri edinim aşamasında meydana gelen (parmak yüzeyinin ıslak,

kuru, kesik vb. oluşu, veri toplanırken düşük veya fazla basınç uygulanması, edinim yönteminden/ortamından/cihazından kaynaklanan gürültü) problemler veya izin oluşum biçiminden (latent, exemplar) kaynaklanan sebeplerden dolayı toplanan veriye harici müdahalelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Biyometrik örnek kalitesini arttırabilmek ve buna bağlı olarak eşleştirme performansını arttırıp tanımlama başarısını yükseltebilmek için, toplanan parmak görüntüsündeki kusurlar iyileştirme yaklaşımları ile düzeltilmektedir.

Parmak izi görüntüsü iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, iyileştirmenin sürecinin tanımlı çeşitlilik göstermektedir. Birçok çalışma toplanan parmak görüntüsünün segmentasyonundan inceltirme işlemine kadar (Şekil 3.9) gerçekleşen tüm basamaklarının tamamını iyileştirme süreci olarak tanımlarken, bir grup çalışma ise iyileştirme süreci bir görüntünün piksel tabanlı veya yapısal geliştirilmesini sağlayan bir basamak olarak tanımlamıştır [5, 69, 94, 115-120]. İyileştirmenin bir basamak olarak ya da tüm basamakların tamamının iyileştirme olarak tanımlanması sebebiyle, literatürde yer alan çalışmalarda iyileştirme yöntemleri farklı şekilde sınıflandırılmıştır.

Parmak izi görüntülerini iyileştirmek için birçok yaklaşım önerilmiştir [5, 69, 94, 115-120]. Bu yaklaşımlar uygulanış biçimi, kullandığı metotlar, çalışma mekanizması gibi özellikleri dikkate alınarak farklı başlıklar altında gruplandırılmıştır. En detaylı sınıflandırma parmak izi geliştirme yöntemlerini sinyal ve/veya gürültü modeli açısından altı gruba ayırır: sinyal etki alanı modelleri, enerji modelleri, gürültü istatistik modelleri, frekans alanı modelleri, parmak izi modelleri ve kompozisyonel modeller [120]. En genel sınıflandırma ise parmak izi iyileştirme yöntemlerini üçe ayırır: piksel temelli iyileştirme, bağlamsal filtreleme ve çoklu çözünürlük analizi [121].

Piksel temelli iyileştirme yöntemleri, görüntü yoğunluğunu arttırmak için görüntü işleme algoritmalarını kullanmaktadır [114]. Bu yöntemler, parmak izi görüntüsü iyileştirilmesinde tek başına tatmin edici ve kesin sonuçlar üretemez. Bununla birlikte, kontrast germe, histogram manipülasyonu, normalizasyon, wiener filtreleme, görüntü çıkarma ve ortalama ve yoğunluk dönüşümleri gibi piksel temelli iyileştirme yöntemleri, daha sofistike bir parmak izi iyileştirme algoritmasında bir ön işleme adımı olarak etkili sonuçlar üretebilmektedir [5, 114, 122, 123].

Parmak izi görüntü iyileştirme için yaygın olarak kullanılan algoritmaların çoğu, bağlamsal filtrelemeye dayanmaktadır. Geleneksel görüntü filtrelemede, görüntü boyunca evrişim (convolution) için yalnızca tek bir filtre kullanılmaktadır. Bağlamsal filtrelemede ise, filtre özellikleri yerel bağlama göre değişebilmektedir. Genellikle bu yöntemde her bölge için önceden hesaplanmış bir dizi filtre içerisinde en uygun olanının seçimi yapılır. Parmak izi geliştirmede, bağlam genellikle yerel sırt yönü ve yerel sırt frekansı ile tanımlanmaktadır. Aslında, sinüzoidal şekilli sırtlar ve çukurlar dalgası (sırt-vadi modeli), esas olarak parmak izi alanı boyunca yavaşça değişen yerel bir yönelim ve frekansla tanımlanabildiği için, yerel sırt frekansı ve oryantasyonuna ayarlanmış uygun bir filtre istenmeyen gürültüyü verimli bir şekilde giderebilmekte ve gerçek sırt ve vadi yapısını ortaya çıkarmaktadır. Literatürde sık kullanılan bağlamsal filtreleme yöntemleri arasında Gabor, Fourier, STFT, DCT yer almaktadır [5, 122, 124-126].

Çoklu çözünürlük analizi parmak izindeki gürültü sorununu giderebilmek için, görüntüyü farklı frekans bantlarına veya alt görüntülere ayrıştırarak farklı ölçeklerde farklı gürültü bileşenlerinin ayrıştırılmasına olanak tanımaktadır. Yüksek frekans seviyesinde sırt-vadi şablonunun akışı temizlenir ve sırt çizgilerindeki küçük boşluklar kapatılır, düşük frekans seviyesinde ise daha ince ayrıntılar üzerinde iyileştirilmeler yapılmaktadır. Son olarak iyileştirilmiş görüntüyü elde etmek için tüm görüntü bantları yeniden birleştirilmektedir. Literatürde sık kullanılan çoklu çözünürlük analizi yöntemleri arasında Almansa ve Lindeberg tekniği, dalgacık dönüşümü, ikili ölçek uzayı yer almaktadır [5, 127-129].

3.6.4. MAFIS için önerilen iyileştirme yaklaşımı

Tez çalışması kapsamında temassız veri edinim yöntemi ile toplanan parmak izinin MAFIS’de kullanılabilmesi için, piksel temelli iyileştirme yöntemi olan CLAHE ile birlikte, uzamsal alanda çalışan bağlamsal filtreleme temelli iyileştirme yöntemi olan Gabor filtreleme kullanılmıştır.

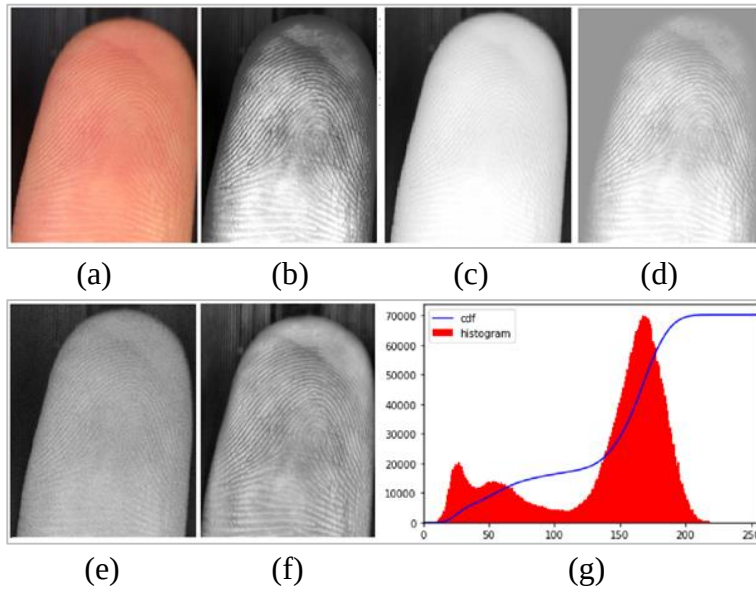
Piksel Boyutunda Yapılan İyileştirmeler

Görüntü işleme, görüntüyü oluşturan küçük alanların ve ayrıntıların geliştirilmesini gerektirir. Dijital görüntü işlemede bu küçük alanların karşılığı piksellerdir. Görüntü işleme sürecinde, görüntüyü oluşturan pikseller hem tekil olarak hem piksellerin komşulukları

dikkate alınarak değerlendirilir. Bu sayede, noktasal bakış açısı ile aşikâr olmayacak yoğunluk seviyesi varyasyonlarının hesaplanması, komşu piksellerin değerlendirilmesi ile mümkün olmaktadır. Görüntü işleme sürecinde kullanılan piksel temelli iyileştirme yaklaşımları, belirli bir noktadaki piksel yoğunluğunun önceki değerine ve genel parametrelere bağlı olarak görüntüyü geliştirmektedir.

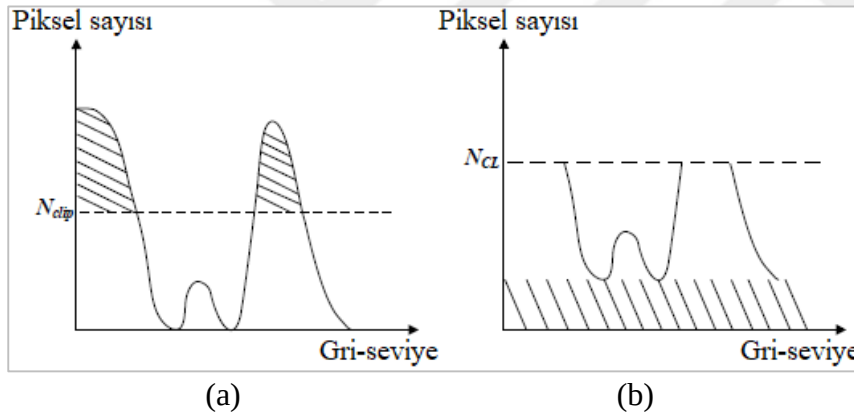
Kullanılacak iyileştirme yöntemi, yöntemin uygulanacağı veriye göre seçilmelidir. Örneğin, histogram eşitleme yöntemi düşük kontrastlı görüntülerin keskinliğini arttırmada başarılı sonuç vermesi sebebiyle temassız parmak izi edinimi yapan çalışmalarda çok tercih edilen yaklaşımlardan biridir [75].

Histogram, bir görüntüde yer alan her bir renk değerinin bulunma sıklığını temsil eder, bu sayede görüntü kategorize edilebilmektedir. Temassız edinim yöntemleri ile toplanan parmak görüntüsüne histogram eşitleme uygulanmadan evvel, görüntü RGB'den gri renk uzayına dönüştürülür. Bu dönüşümdeki temel amaç siyah beyaz renk tonlarından oluşan bir histogram grafiği elde etmektir. Gri renk uzayında her piksel 0-255 arası bir renk almakta ve bu aralıkta 0 değerine yaklaşma siyah renk tonuna doğru 255 değerine yaklaşma beyaz renk tonuna doğru bir geçişi temsil etmektedir [93, 114].



Şekil 3.12. Farklı piksel temelli iyileştirme yaklaşımlarının geliştirilen aparat ile toplanan parmak görüntüsüne uygulanması, giriş görüntüsü (a), Hong normalizasyon (b), kontrast germe (c), histogram eşitleme (d), Wiener filtreleme (e), adaptif histogram eşitleme (f), histogram dağılım grafiği (g)

Histogram eşitleme, yoğunluk değerlerini dönüştürerek görüntülerin kontrastını artırmak için kullanılan genel bir işlemdir. Bu yöntem küçük bölgelerde yayılım gösteren renk değerlerini geniş bir alana yaymak suretiyle renk dağılım bozukluğunu giderebilmekte ve görüntü kontrastını arttırabilmektedir [130]. Histogram eşitlemenin dezavantajı, eşitleme yapılacak görüntünün tamamının yoğunluk dağılımının kullanılmasından kaynaklı gürültülerin ve buna bağlı veri kayıplarının oluşması ya da küçük alanlar üzerinde ayrıntıları belirginleştirmenin gerekli olduğu durumlarda zayıf kalmasıdır [131, 132]. Bahsi geçen bu problemleri ortadan kaldırmak için kontrast limitli adaptif histogram eşitleme (CLAHE) yöntemi geliştirilmiştir [133]. Bu yöntemle birlikte, özellikle biyomedikal görüntülemelerde kullanılmak üzere, histogram eşitlemenin varyasyonları olan yaklaşımların yan etkisi olarak ifade edilen gürültü artışı problemi giderilmiştir ve tıbbi görüntüleme sistemlerinde düşük kontrastlı görüntülerin geliştirilmesinde bu yöntemin başarılı olduğu kanıtlanmıştır [132, 134].



Şekil 3.13. Orijinal (a) ve kırpılmış (b) histogramlar [132]

Düşük kontrastlı dijital görüntülerde görüntü kalitesini ve buna bağlı olarak kontrast değerini arttırmak için kullanılan CLAHE yönteminde, ilk olarak her bölgenin histogram değeri hesaplanır. Sonrasında yöntemin uygulandığı görüntü için belirlenen kontrast genişliği göz önünde bulundurularak bir kırpma sınır değeri elde edilir (Şekil 3.13). Daha sonra her histogram belirlenen bu kırpma sınır değerini aşmayacak şekilde yeniden dağıtılır. Sonrasında gerçekleşen her histogram dağılım işlemi, belirlenen bu kırpma sınır değerini aşmayacak şekilde yeniden gerçekleştirilir. Son olarak, gri seviye haritalama için elde edilen kontrast sınırlı histogramların kümülatif dağılım fonksiyonları (CDF) belirlenir [131].

Rayleigh dağılım fonksiyonu kullanılarak uygulanan CLAHE algoritması [131]'de özetlenmiştir. İlk adımda, girdi görüntüsü birbirine örtüşmeyen bloklara bölünür. Toplam blok sayısı $(M \times N)$ 'ye eşittir. Bu bölme işlemi görüntünün kromatik (renklere ait) özelliklerini korumak için genellikle (8×8) 'lik piksel blokları şeklinde gerçekleştirilir. İkinci adımda, görüntüyü oluşturan blok dizisinde bulunan gri seviyelere göre her bağlamsal bölgenin histogramı hesaplanır. Üçüncü adımda, bağlamsal bölgenin kontrast sınırlı histogramı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$N_{aver} = \frac{N_{CR-Xp} \times N_{CR-Yp}}{N_{gray}} \quad (3.2)$$

Eş. 3.2'de N_{aver} ortalama piksel sayısı, N_{gray} bağlamsal bölgedeki gri düzeylerin sayısı ve N_{CR-Xp} ve N_{CR-Yp} ise bağlamsal bölgenin X ve Y boyutundaki piksellerin sayısıdır. Eş. 3.2 temel alınarak, N_{CL} aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$N_{CL} = N_{clip} \times N_{aver} \quad (3.3)$$

Eş. 3.3'deki N_{CL} gerçek CL'dir, N_{clip} ise $[0, 1]$ aralığındaki normalleştirilmiş CL'dir. Piksel sayısı N_{CL} 'den büyükse pikseller kırpılır. Kırpılan piksellerin toplam sayısı $N_{\Sigma clip}$ olarak tanımlanır, ardından her gri seviyeye dağıtılacak kalan piksellerin ortalaması şu şekilde hesaplanır:

$$N_{acp} = \frac{N_{\Sigma clip}}{N_{gray}} \quad (3.4)$$

Ardından, bağlamsal bölgenin kontrast sınırlı histogramı aşağıdaki ifadelerde verilen kurallar kullanılarak hesaplanır:

$$\begin{aligned} \text{If} \quad & H_{CR}(i) > N_{CL}, \quad H_{NCR}(i) = N_{CL}; \\ \text{Else if} \quad & H_{CR}(i) + N_{acp} \geq N_{CL}, \quad H_{NCR}(i) = N_{CL}; \\ \text{Else} \quad & H_{NCR}(i) = H_{CR}(i) + N_{acp} \end{aligned}$$

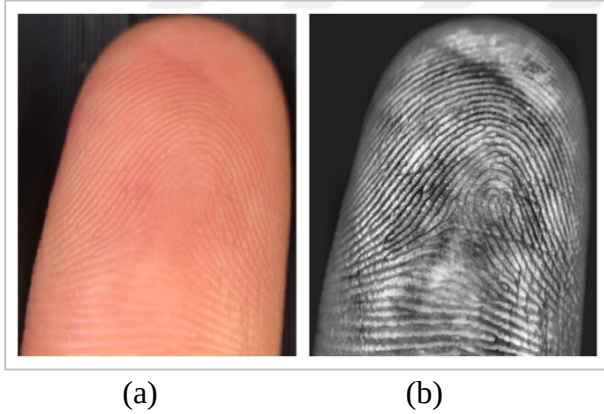
$H_{CR}(i)$ bağlamsal bölgenin her gri seviyesindeki piksel sayısıdır, i ise gri seviyenin sayısıdır. Dördüncü adımda, kalan piksellerin tümü dağıtılincaya kadar kalan pikseller yeniden dağıtılır. Piksellerin yeniden dağıtım adımı Eş. 3.5'deki gibi gerçekleştirilir:

$$S = \frac{N_{gray}}{N_{LP}} \quad (3.5)$$

Beşinci adımda, her bölgedeki yoğunluk değerleri Rayleigh dönüşümü ile iyileştirilir. Bu dönüşüm Eş. 3.6'daki gibi tanımlanır:

$$y = y_{min} + [2\alpha^2 \ln\left(\frac{1}{1 - P(x)}\right)]^{0.5} \quad (3.6)$$

Burada y hesaplanan piksel değeri, α Rayleigh dağılım parametresidir, y_{min} piksel değerinin alt sınırıdır ve $P(x)$ kümülatif dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Son adımda, her bir blok ve komşu bloklar arasındaki süreksizliği önlemek için çift bi-lineer enterpolasyon kullanılarak eşleştirme yapılır.



Şekil 3.14. Orijinal görüntü (a), CLAHE uygulanmış görüntü (b)

Geliştirilen aparatla toplanan parmak görüntüleri RGB formatından gri seviye formatına dönüştürüldükten sonra CLAHE algoritması uygulanmış, kırma limiti 0.2 ve dağılım parametresi ise Rayleigh olarak belirlenmiştir. Şekil 3.14'de parmak görüntüsünün CLAHE algoritması ile geliştirilmiş versiyonu görülmektedir. Bu algoritmanın, özellikle tez çalışması kapsamında üzerinde çalışılan parmak izleri gibi gürültülü ve düşük kontrastlı görüntüler için iki avantajı vardır:

- Görüntünün tamamında değil farklı bölümlerinde ayrı ayrı çalışması
- Histogram eşitlemede kullanılan fonksiyonun yüksek ve düşük fonksiyonlarının değerlerini sınırlandırarak uyarlamalı histogram eşitlemede ortaya çıkan gürültünün daha güçlü hale getirilmesi probleminin önlenmesi

Geliştirilen veri edinim aparatının aydınlatma mekanizması ve veri toplama standartları, karmaşık olmayan bir yaklaşımla piksel boyutunda iyileştirme aşamasını tamamlama imkânı sunmaktadır.

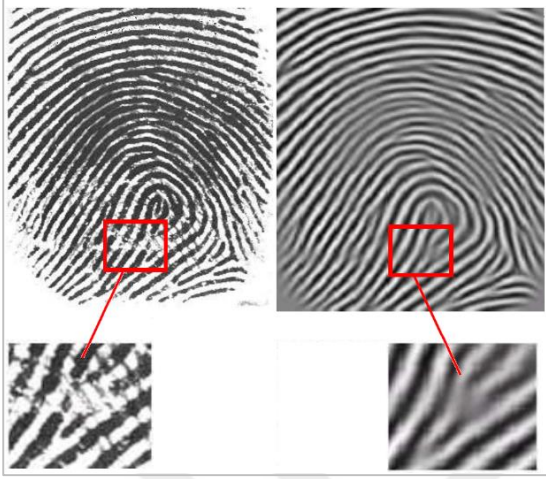
Uzamsal Alan Filtreleme ile Yapılan İyileştirmeler

Piksel temelli yöntemlerde temel amaç görüntüdeki vurgulanmak istenen özellikleri ön plana çıkarmak ve belirginleştirmektir. İyileştirmenin yapıldığı görüntü parmak izi olduğunda istenilen şey sırt-vadi desenindeki yükselti ve çukur yapılar arasındaki kontrast değerini olabildiğince arttırmak ve bu yapının daha iyi gözlemlenebilmesi için görüntünün parlaklık düzeyini geliştirmektir, başka bir deyişle görüntüye belirli seviyede bir netlik kazandırmaktadır [135]. Öte yandan, görüntüde piksellerin geliştirilmesi ile düzeltilemeyecek deformasyonlar da bulunmaktadır. Bu deformasyonların restorasyonu için matematiksel ve istatistiksel modeller kullanılmaktadır [136]. Filtreleme bu modellemelerden biridir. Literatürde parmak izi iyileştirme için çeşitli türlerde bağlamsal filtrelemeler önerilmiştir. Bu filtreleme yöntemlerin tanımları farklı olmasına rağmen, amaçlanan davranış neredeyse aynıdır. Bu amaçlar [5]:

- Küçük boşlukları birbirine bağlamak ve gözenekler veya gürültüden kaynaklanan kusurları doldurmak amacıyla sırt yönü boyunca düşük geçiş (ortalama) etkisi sağlamak
- Sırtlar ve vadiler arasındaki ayrımı arttırmak ve paralel bağlantılı çıkıntıları ayırmak için çıkıntılara dik yönde bir bant geçişi (farklılaştırma) etkisi gerçekleştirmek

Filtreleme yöntemleri iki ana kategoride değerlendirilmektedir: uzamsal alan yöntemleri ve frekans alan yöntemleri. Uzamsal alan terimi, görüntü düzleminin kendisini ifade eder ve bu kategorideki yaklaşımların çalışma mantığı bir görüntüdeki piksellerin doğrudan manipülasyonuna dayanmaktadır. Frekans alan yöntemleri ise görüntünün Fourier dönüşümünün değiştirilmesine dayanmaktadır [114]. Frekans alan yöntemleri ile alakalı detaylı bilgi 4. bölümde verilmiştir. Bu bölümde MAFIS’de kullanılmak üzere temassız

toplanan parmak görüntülerinin uzamsal alan filtreleme yaklaşımı ile iyileştirilmesi yer almaktadır.



Şekil 3.15. Filtreleme modelleri ile parmak izi iyileştirilmesi [137]

Uzamsal alan filtrelemede, filtreleme işlemi doğrudan görüntünün gerçek pikselleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerde hat çizgisi boyunca çeşitli örnekleme noktaları alınarak tepe akışının yönünü belirlenir. Yönler belirlendikten sonra, komşu örnekleme noktalarındaki yönler arasındaki fark değerlendirilerek anormallikler tespit edilmektedir [135]. Parmak izi görüntüsü iyileştirme için kullanılan pek çok filtreleme yöntemi mevcuttur [124, 126, 138]. Bu yöntemler, iyileştirme amacıyla kullanıldığı görüntülere göre farklı başarı oranlarına sahip olmaktadır. Bu sebeple, tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS’de kullanılmak üzere temassız edinim ile toplanan parmak görüntüleri için en uygun yöntemin belirlenebilmesi adına, iyileştirme uygulanacak verinin karakteristik özelliklerine (gürültü oranı, arka planı, ortam şartları, edinim yöntemi vb.) bakılmıştır ve Gabor filtrelemenin en uygun yöntemlerden biri olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında temassız toplanan parmak görüntüsünün Gabor filtre kullanılarak iyileştirilmesi için [122] tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımın tez çalışmasına implementasyonu alt başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

Normalizasyon

Normalizasyon, bir görüntüdeki gri seviye değer aralığını ayarlamak suretiyle yoğunluk değerlerini düzenlemek için gerçekleştirilen piksel temelli bir iyileştirme işlemidir. Bu

sayede görüntü istenilen bir değer aralığında olacak şekilde standartlaştırılır. Normalizasyonun temel amacı, parmak görüntüsünü oluşturan sırt-vadi modelinin gri düzey değerindeki değişiklikleri azaltmaktır [122].

$I(i, j)$, (i, j) pikselindeki gri düzey değerini ve $N(i, j)$, (i, j) pikselindeki normalleştirilmiş gri düzey değerini temsil ettiği düşünülerek, Normalizasyon işlemi Eş. 3.7 kullanılarak gerçekleştirilir [122]:

$$N(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{V_0(I(i, j) - M)^2}{V}} & \text{if } I(i, j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{V_0(I(i, j) - M)^2}{V}} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3.7)$$

Burada M ve V sırasıyla $I(i, j)$ 'nin tahmini ortalama ve varyansı, M_0 ve V_0 sırasıyla istenen ortalama ve varyans değerleridir. Normalizasyon işleminde sırt ve vadi yapılarının netliği değişmemektedir, fakat bu yapılar arasındaki gri seviye değerlerini azaltmasının sonraki işlem adımları için kolaylaştırıcı etkisi bulunmaktadır. Normalleştirilen görüntü, iyileştirme algoritmasının diğer basamaklarında kullanılmaktadır.

Oryantasyon tahmini

Bir parmak izi görüntüsünün oryantasyon (yönlendirme) alanı, parmak izinde bulunan çıkıntıların yerel yönünü tanımlamak için kullanılır. Gabor filtreleme yönteminin parmak izi görüntüsünü etkili bir şekilde geliştirebilmek için yükseltelerin ve çukurların yerel oryantasyondan faydalanması sebebiyle, oryantasyon tahmini iyileştirme süreci için temel bir basamaktır. En küçük ortalama kare tahmin yöntemi kullanılarak (i, j) pikselindeki oryantasyonu hesaplama adımları aşağıdaki gibidir:

1. Normalleştirilmiş $N(i, j)$ görüntüsü, (i, j) pikseli merkezli $w \times w$ boyutundaki bloklara bölünür.
2. Bloktaki her piksel için, sırasıyla x ve y yönlerindeki gradyan büyüklükleri olan $\partial_x(i, j)$ ve $\partial_y(i, j)$ gradyan değerleri hesaplanır.

3. Pikseldeki (i, j) yerel oryantasyonu Eş. 3.8, Eş. 3.9 ve Eş. 3.10 kullanılarak tahminlenir. Buradaki $\theta(i, j)$, (i, j) piksel merkezli bloktaki yerel oryantasyonun en küçük kare tahminidir.

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v) \quad (3.8)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x^2(u, v)\partial_y^2(u, v) \quad (3.9)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right) \quad (3.10)$$

4. Sonrasında Gauss filtresi kullanarak yerel bir komşuluktaki oryantasyon alanı düzeltilir. Oryantasyon görüntüsü ilk olarak Eş. 3.11 ve Eş. 3.12’de tanımlanan sürekli bir vektör alanına dönüştürülür [122].

$$\varphi_x = \cos(2\theta(i, j)) \quad (3.11)$$

$$\varphi_y = \sin(2\theta(i, j)) \quad (3.12)$$

Burada φ_x ve φ_y , sırasıyla vektör alanının x ve y bileşenleridir. Vektör alanı hesaplandıktan sonra, Gauss düzleştirme filtresi Eş. 3.13 ve Eş. 3.14 kullanılarak uygulanır. Buradaki G , $w \times w$ boyutunda bir Gauss düşük geçişli filtredir [122].

$$\varphi'_x(i, j) = \sum_{u=-\frac{w\varphi}{2}}^{\frac{w\varphi}{2}} \sum_{v=-\frac{w\varphi}{2}}^{\frac{w\varphi}{2}} G(u, v) \varphi_x(i - uw, j - vw) \quad (3.13)$$

$$\varphi'_y(i, j) = \sum_{u=-\frac{w\varphi}{2}}^{\frac{w\varphi}{2}} \sum_{v=-\frac{w\varphi}{2}}^{\frac{w\varphi}{2}} G(u, v) \varphi_y(i - uw, j - vw) \quad (3.14)$$

5. (i, j) pikselindeki yerel sırt yönü O , Eş. 3.15 kullanılarak hesaplanır [122].

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\varphi'_y(i, j)}{\varphi'_x(i, j)} \right) \quad (3.15)$$

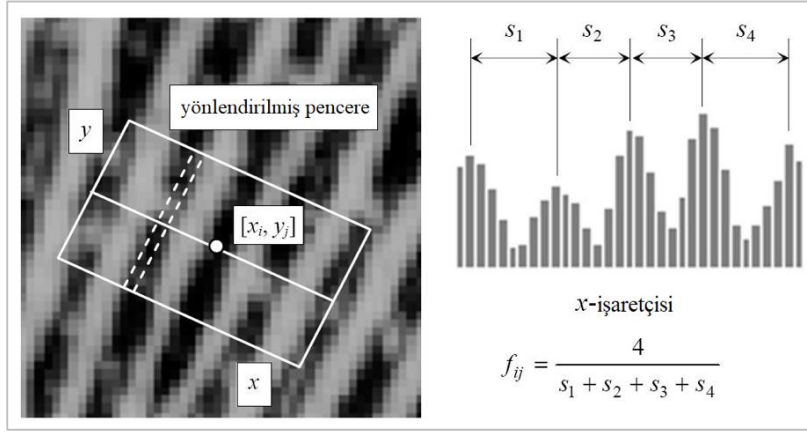
Sırt frekans tahmini

Yerel sırt frekansı, yerel sırt oryantasyonu boyunca iki ardışık gri seviyeli tepe arasındaki ortalama piksel sayısının sayılmasıyla hesaplanmaktadır. Hiçbir ayrıntı (minutiae) ve tekil noktaların görünmediği bir yerel komşulukta, sırtlar ve vadiler boyunca gri seviyeler, yerel sırt oryantasyonuna dik açılı bir yön boyunca sinüzoidal şekilli bir dalga olarak modellenabilmektedir. Bu sebeple yerel tepe frekansı, bir parmak izi görüntüsünün başka bir temel özelliği olarak kabul edilmektedir. G normalleştirilmiş görüntü ve O ise oryantasyon görüntüsünü temsil etmek üzere, yerel tepe frekansı tahmininde yer alan adımlar aşağıda verilmiştir [122]:

1. G üst üste binmeyen, $w \times w$ boyutunda bloklara bölünür.
2. (i, j) pikseli merkezli her bir blok için, $l \times w$ boyutunda yönlendirilmiş bir pencere hesaplanır. Pencere, sırt koordinat sisteminde yerel sırt oryantasyonuna ortogonal bir yön boyunca tanımlanır.
3. Ardışık iki pik arasındaki ortalama piksel sayısını hesaplanır. Burada $T(i, j)$, (i, j) merkezinde bulunan bloğun ortalama piksel sayısıdır.
4. (i, j) bloğunun frekansı Eş. 3.16 kullanılarak hesaplanır.

$$F(i, j) = \frac{1}{T(i, j)} \quad (3.16)$$

5. X-işaretçisi ile ardışık tepe tespit edilemezse, frekansı geçerli frekans değerlerinden ayırmak için -1 değeri atanır.



Şekil 3.16. Sırt çizgilerinin sinüzoidal şekilli bir dalga olarak betimlenmesi [139]

Sabit çözünürlükte toplanan bir parmak izi görüntüsü için, yerel bir komşuluktaki sırtların ve vadilerin frekansının değeri belirli bir aralıkta bulunur. 500 dpi görüntü için bu aralık $[1/3, 1/25]$ 'dir. Bu nedenle, frekansın tahmini değeri bu aralığın dışındaysa, o zaman frekansa, geçerli bir frekansın elde edilemeyeceğini belirtmek için -1 değeri atanır [122].

Filtreleme

İki boyutlu bir Gabor filtresi, bir Gauss zarfı tarafından modüle edilen belirli bir yönelim ve frekanstaki sinüzoidal bir düzlem dalgasından oluşmaktadır. Sırt yönü ve tepe frekansı bilgisi belirlendikten sonra, bu parametreler eşit simetrik Gabor filtresini oluşturmak için kullanılmaktadır. Gabor filtreleri, frekans seçici ve yönelim seçici özelliklere sahiptir. Bu özellikler filtrenin, parmak izi görüntüsündeki belirli bir yönelimdeki ve frekanstaki çıkıntılara maksimum yanıt verecek şekilde ayarlanmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, uygun frekansa ve yönelime göre ayarlanmış bir bant geçiş filtresi, istenmeyen gürültüyü verimli bir şekilde giderebilmekte, aynı zamanda gerçek sırt ve vadi yapılarını koruyabilmektedir. Eşit simetrik Gabor filtresi, bir Gauss zarfı tarafından modüle edilen bir kosinüs dalgası tarafından verilen Gabor fonksiyonunun gerçek kısmıdır. Uzamsal alanda eşit simetrik bir Gabor filtresi Eş 3.17'de tanımlanmıştır [140].

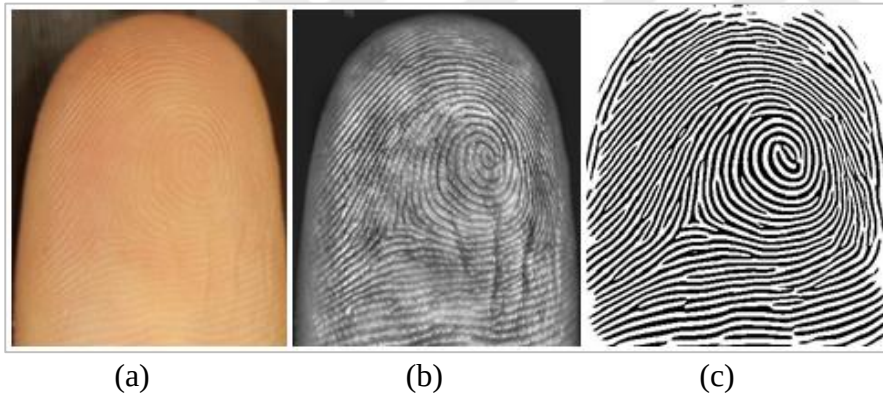
$$G(x, y : \theta, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y} \right] \right\} \cos(2\pi f x_0) \quad (3.17)$$

$$x_{\theta} = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3.18)$$

$$y_{\theta} = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (3.19)$$

Eş. 3.17’de Gabor filtresinin yönelimi θ ve kosinüs dalgasının frekansı f iken σ_x ve σ_y sırasıyla x ve y eksenleri boyunca Gauss zarfının standart sapmalarıdır. x_{θ} ve y_{θ} ise filtre koordinat çerçevesinin x ve y eksenlerini tanımlar. Gabor filtresi, görüntüyü filtre ile uzamsal olarak saracak şekilde parmak izi görüntüsüne uygulanır. Görüntüdeki bir (i, j) pikselin konvolüsyonu hesaplanırken, o piksele karşılık gelen oryantasyon değerine $O(i, j)$ ve tepe frekans değerine $F(i, j)$ ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, gelişmiş görüntü E elde etmek için Gabor filtresi G, Eş. 3.20 kullanılarak gerçekleştirilir.

$$E(i, j) = \sum_{u=\frac{-wx}{2}}^{\frac{wx}{2}} \sum_{v=\frac{-wy}{2}}^{\frac{wy}{2}} G(u, v; O(i, j), F(i, j)) N(i - u, j - v) \quad (3.20)$$



Şekil 3.17. Temassız edinim ile toplanan parmak görüntüsüne (a) piksel tabanlı (b) ve uzamsal filtreleme tabanlı (c) iyileştirme yöntemlerinin uygulanması

Şekil 3.17’de MAFIS için kullanılmak üzere geliştirilen temassız veri edinim aparatı ile toplanan parmak görüntüsüne uygulanan piksel temelli iyileştirme ve bağlamsal filtreleme ile yapılan iyileştirme sonucu elde edilen sonuç verilmiştir. Görülmektedir ki, veri edinim sürecinin tez çalışması kapsamında önerilen şekilde tasarlanması halinde, temaslı edinim yöntemleri ile toplanan parmak izlerini iyileştirmede kullanılan yöntemlerinin basit parametrik düzenlemeler uygulandıktan sonra temassız edinim yöntemleriyle toplanan parmak görüntülerine implementasyonu gerçekleştirilebilmektedir.

3.7. Parmak İzi Eşleştirme Yöntemleri

Bir parmak izinin eşleştirilme işlemi, aynı parmaktan alınan parmak izleri örnekleri için yüksek ve farklı parmaklardan alınan örnekler için düşük olması gereken iki parmak izi arasındaki benzerlik oranının hesaplanması olarak tanımlanmaktadır. Parmak izi eşleştirme, büyük sınıf içi varyasyonlar (aynı parmağın parmak izi görüntülerindeki farklılıklar) ve büyük sınıflar arası benzerlik (farklı parmaklardan alınan parmak izi görüntülerinin arasındaki benzerlik) nedeniyle zor bir desen tanıma problemidir [141]. Sınıf içi varyasyonları oluşturan ana faktörler arasında [5]:

- Konumlandırma problemleri (veri edinim cihazına hatalı konumlandırma, rotasyon, ilgili bölgenin tamamının kayıt altına alınamaması vb.)
- Veri edinim yönteminden kaynaklanan problemler (parmağın üç boyutlu yapısından kaynaklı doğrusal olmayan bozulma, yeterli basıncın uygulanamamasından kaynaklanan tam desen yakalayamama vb.)
- Parmak yüzeyinden kaynaklanan cilt problemleri (kuruluk, nem, deformasyon vb.)
- Veri edinim cihazından veya sistemden kaynaklanan problemler (cihaz gürültüsü, hatalı özellik çıkarım algoritmaları vb.) yer almaktadır.

Yukarıda bahsedilen bireyden, yöntemden ve sistemden kaynaklanan operasyonel problemler ışığında, bir eşleştirme algoritmasının tasarımında, eşleşen çiftlerin temsilleri arasındaki varyasyonların gerçekçi bir modelini kurabilmek temel hedeftir. Tüm bu varyasyonlar ve operasyonel problemler dikkate alınarak, çok sayıda parmak izi eşleştirme yaklaşımı geliştirilmiştir. Fakat tüm bu yaklaşımlar genel bir sınıflandırmaya tabi tutularak üç ana başlıkta kategorize edilebilmektedir. Bunlar [5, 142]:

- Korelasyon temelli eşleştirme
- Ayrıntı noktası tabanlı (minutiae) eşleştirme
- Ayrıntı noktası dışı özellik tabanlı eşleştirme

Korelasyon temelli yaklaşımlarda iki parmak izi görüntüsü arasındaki benzerliği tespit edebilmek için, görüntüler ölçeklenir, çevrilir, döndürülür, eşitlenir ve ardından iki görüntü arasındaki korelasyon değerlendirilerek eşleşme puanı elde edilir. Korelasyon temelli yöntemlerde, parmak izi görüntüsü ikileştirilmeden (binarization), gri ölçekli versiyonu ile

kullanılmaktadır. Gri ölçekli parmak izi görüntüsünde hem ayrıntı noktaları gibi mikro özellikler hem referans noktaları gibi makro özellikler ve sırt şekli, kalınlığı vb. spesifik özellikler de yer alması sebebiyle tüm boyutsal özellikler kullanılabilir, bu da daha fazla karakteristik özellik kullanımı fırsatı sunmaktadır [143-145]. Korelasyona dayalı yöntemler de düşük kaliteli görüntülerle başa çıkma yeteneğine sahiptir ve yanlış/gözden kaçan ayrıntılar eşleştirme performansını düşürmez. Korelasyona dayalı yöntemler daha yüksek güvenilirliğe sahip olsa da, temel dezavantajı yüksek hesaplama maliyetleridir [143-145].

Ayrıntı noktası tabanlı eşleştirme, literatürde en çok çalışılan ve uygulanan yöntemlerdendir [146]. Bu yöntemlerin çoğunda, kaydırma ve döndürme işlemleriyle iki parmak izi görüntüsünden çıkarılan ayrıntıların bir hizalamasını gerçekleştirir ve ardından eşleştirme skoru, eşleşen ayrıntı noktası çiftlerinin sayısının iki görüntüdeki ortalama ayrıntı noktası sayısına bölünmesiyle hesaplanır. Hizalama adımı, veri edinim sürecinde kullanılan cihazlardan kaynaklanan ölçek, döndürme, öteleme ve doğrusal olmayan bozulma farklarıyla ilgili sorunları azaltmak için gerekli görülmektedir. Ayrıntı noktası tabanlı eşleştirme algoritmaları global veya yerel ayrıntıları dikkate alarak eşleştirme yapmaktadır. Global eşleştirme yapan algoritmalarda, iki parmak izi görüntüsünün tüm küçük noktalarını dikkate alınarak ve farklı hizalama stratejileri kullanarak en iyi eşleşme skoru aranmaktadır. Yerel eşleştirme algoritmalarında ise, küçük ayrıntı kümelerini alt bölümlere parçalanarak benzerlik ölçümü yapılmaktadır [142].

Ayrıntı noktaları parmak izi için son derece güvenilir bir ayırt edici özellik olmasına rağmen, bu noktaların tespiti için toplanan parmak izi görüntüsünün kalitesinin çok yüksek olması gerekmektedir [5, 146]. Özellikle düşük kalitedeki parmak izi görüntülerinde ayrıntı noktası çıkarmak için kullanılan yöntemler, belirsiz sırt-vadi modeli sebebiyle yanlış ayrıntı noktası (false minutae) tespitine yol açmaktadır. Belirsiz sırt-vadi modelinden kaynaklanan bu problemi ortadan kaldırmak için ikileştirilmiş görüntü yerine gri ölçekli görüntüden ayrıntı noktaları çıkarımı fikri hatalı ayrıntı noktası çıkarımının önüne geçse de, bu özellikleri güvenilir bir şekilde algılamak için kusursuz bir ayrıntı çıkarıcı tasarlamak hala büyük bir sorun olarak görülmektedir [146]. Ayrıntı tabanlı yaklaşımların bir başka dezavantajı ise, parmak iziyle ilgili yalnızca sınırlı mevcut bilgiyi kullanmalarıdır. Özellikle kısmi parmak izleri ile uğraşılırken, ayrıntı noktası haricinde kalan yararlı bilgilerin bir kısmı bu yöntemler tarafından kullanılmadığından, bu eksiklik ciddi bir sorun haline gelmektedir [46].

Ayrıntı noktası çıkarımı, düşük kalitedeki parmak izi görüntüsünde oldukça zorlayıcı bir süreçtir, çoğu zaman çıkartılan bu ayrıntı noktaları hatalı olmaktadır. Bu gibi spesifik durumlarda parmak izi sırt-vadi şablonuna dayalı yerel oryantasyon, yerel frekans, sırt şekli, Seviye-3 karakteristikler gibi dokusal veriler vb. gibi diğer özellikler kullanılarak daha güvenilir bir eşleştirme modeli geliştirilebilmektedir [147, 148]. Bu özelliklerin ayırt ediciliği diğer yaklaşımlarda kullanılan özelliklere göre daha düşüktür [5].

Yukarıda bahsedilen eşleştirme yaklaşımlarında, eşleştirme performansı yüksek olan korelasyon temelli yöntemlerin yüksek karmaşıklığı, ayrıntı noktaları temelli yöntemlerin güvenilir oluşu fakat bu noktaların düşük çözünürlüklü görüntülerde çıkarılamayışı, ayrıntı noktası dışında kalan özellikleri kullanan yöntemlerin ise ayırt ediciliğinin düşük olması gibi yöntemsel problemler sebebiyle harici yaklaşımların arayışına girilmiştir. Bahsi geçen bu problemlerin üstesinden gelebilmek adına literatürde önerilen hibrit yaklaşımların yanı sıra, geleneksel olmayan çözüm önerileri de sunulmuştur [149, 150]. Bunlardan en önemlileri makine öğrenmesi temelli eşleştirme mekanizmalarıdır. Makine öğrenmesi temelli yaklaşımların arkasındaki ana fikir, bir özellik vektörü oluşturmak ve makineyi oluşturulan bu vektörü bazı belirli kurallara göre nasıl işleyeceği üzerine eğitmektir. Bu şekilde, makine öğrenimi teknikleri karmaşık parmak izi verilerini verimli bir şekilde işleyebilmekte ve dolayısıyla parmak izi tanımlama sisteminin yukarıda bahsedilen sorunlarının çözülmesine katkıda bulunabilmektedir [151].

Çizelge 3.4. Parmak izi eşleştirme üzerine yapılan çalışmalar

Kay.	Eşleştirme Yöntemi	Önerilen Yaklaşım	Kullanılan Teknik ve Yöntem	Veri seti	Başarı oranı
[152]	Ayrıntı tabanlı	Parmak izi görüntülerinin güçlü deformasyonu ile başa çıkmak için önerilen üçgen eşleme yöntemi	Dinamik zaman bükme (DTW) algoritması	NIST 4 veri tabanı	%85 doğru pozitif (TP) %15 yanlış negatif (FN)
[153]	Ayrıntı tabanlı	Her bir ayrıntıya göre parmak izi modelinin oryantasyon alanını tanımlamaya dayanan yeni bir parmak izi temsil şeması	Önerilen temsil şeması ile iki parmak izi gösterimi arasındaki benzerliği değerlendirmek için kullanılan ayrıntı noktası tabanlı benzerlik algoritması / Hough dönüşümü/ Greedy algoritması	800 parmak izi	EER: %2.3-10.9
[154]	Ayrıntı noktası dışı	Dönme değişmezliği (rotation-invariant) referans noktası konum yöntemi	FingerCode/ Gabor filtre/ Öklid uzaklığı/ ortalama mutlak sapma	NIST 4 veri tabanı	Sonuçlar ROC eğrisi grafiği ile gösterilmiştir.
[155]	Ayrıntı noktası dışı	Vektör nicemlemenin öğrenilmesi tabanlı sinir ağı öğrenme (LVQ- NN)	Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT)/ FingerCode olarak adlandırılan yedi değişmez moment özelliği	FVC2002 veri tabanı	FAR= %0.5 iken GAR: %95.1
[156]	Ayrıntı noktası dışı	Parmak izi tanımayı iki sınıflı bir örüntü tanıma problemi olarak değerlendirmek	FingerCode/ Gabor filtresi/ Poincaré tabanlı algoritma	FVC2002 veri tabanı	EER: %3.9-15
[157]	Korelasyon tabanlı	Parmak izi görüntülerinde eşleşen bölgelerin yerleştirilmesine dayalı bir eşleştirme yaklaşımı	Zemike moment değişmezleri/ hong normalizasyonu/ Histogram eşitleme/ gauss düzleştirme filtresi	FVC2002 veri tabanı	FAR: %7.108 FRR: %7.151 EER: %7.13
[158]	Korelasyon tabanlı	Düşük kaliteli parmak izlerinin tanınması için önerilen bir yaklaşım	Normalleştirilmiş çapraz korelasyon	3000 parmak izi	EER: %2
[143]	Hibrit Yaklaşım	Ayrıntı noktası çevresindeki bölgelerin uzamsal korelasyonunu kullanan minutiae eşleştirme algoritması	Gabor filtre/ normalleştirilmiş çapraz korelasyon	2560 parmak izi	EER: %4.5
[159]	Hibrit Yaklaşım	Ayrıntı noktası doku haritalarına dayalı yeni bir hibrit parmak izi eşleştirme tekniği	Ağırlıklandırma odaklı ayrıntı noktası kodları/ Gabor filtre/ ortalama mutlak sapma	FVC2000/20 veri tabanı	EER: %5.19
[160]	Ayrıntı tabanlı	Parmak izi ayrıntı noktası çıkarma için derin öğrenme tabanlı model (FingerNet)	Hong normalizasyonu/ Gabor filtreleme/ derin öğrenme	NIST SD27 ve FVC 2004 veri tabanı	Sonuçlar ROC eğrisi grafiği ile gösterilmiştir.
[161]	Ayrıntı tabanlı	Derin öğrenme modellerine dayalı parmak izi ayrıntı noktası çıkarma algoritması (MENet)	Derin öğrenme/ softmax normalleştirme	FVC2002/04 veri tabanı	EER: %7.81-5.45

Derin öğrenme ve yapay sinir ağlarındaki son gelişmeler, çeşitli bilimsel alanlardaki kalıplaşmış yaklaşımların değişimini sağlamıştır. Özellikle, açık kaynaklı derin öğrenme çerçeveleri, mevcut modellere dayalı olarak özelleştirilmiş makine öğrenimi sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişmelerden biyometrik sistemler de nasibini almış ve özellikle görüntü sınıflandırma ve tanıma aşamalarında zorlu biyometrik problemler için de alternatif yaklaşımlar kümesi ortaya çıkmıştır [120, 162, 163]. Parmak izi için yukarıda bahsi geçen karakteristikler kullanılarak yapılan eşleştirmeler dışında da, derin öğrenme teknolojilerinin sunduğu parmak izi görüntülerinin farklı özetleme yaklaşımları sayesinde, parmak izi eşleştirilmesi farklı bir boyut kazanmıştır. Buna ek olarak, AFIS teknolojinin en büyük problemlerinden biri olan dağıtık yapısının birleştirilememesine ve çalışma performansının artırılması ihtiyacına bir çözüm önerisi olarak görülen derin öğrenme yaklaşımları, parmak izi biyometrisine dayalı doğrulama/tanımlama süreçleri için yeni bir bakış açısı sunmaktadır [164]. Özellikle temaslı ve temassız edinim yöntemleri ile toplanan parmak izlerinin karşılaştırılması hususunda da derin öğrenme temelli parmak izi deformasyonunu düzeltme modeli sunabilen uygulamalar da mevcuttur. [163, 165].

3.8. MAFIS için Parmak İzi Karşılaştırma Protokolünün Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında, önerilen temassız veri edinim düzeneğinin, parmak izi toplama ve geliştirme açısından yeterli olduğunu ispat edebilmek adına, temaslı yöntemlerle toplanan parmak izlerine uygulanan ön işleme prosedürleri çalışma kapsamında toplanan parmak görüntülerine de uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlar Başlık 3.6’da detaylı olarak açıklanmıştır. Geliştirilen veri toplama düzeneği ile temassız toplanan parmak görüntüleri iyileştirilerek özellik çıkarımına hazır hale geldikten sonra bir karşılaştırma protokolü belirlenmelidir ve eşleştirme performansı bu protokole göre değerlendirilmelidir. MAFIS için belirlenen karşılaştırma protokolü; veri edinim aşamasını ve toplanan parmak görüntülerinin spesifikasyonlarını, karşılaştırma sürecinin tasarlanmasını, MAFIS ile önerilen sistem ve yöntemin performansını gözlemlemek adına kullanılan ölçütleri içermektedir.

3.8.1. MAFIS veri edinim aşamasının tasarım ortamı

Parmak izi görüntülerini toplamak için tasarlanan (Şekil 3.8) temassız veri edinim düzeneği için geliştirilen aparat, bir akıllı telefon ve aydınlatma ortamını ayarlamak için kullanılan bir

karanlık odadan oluşmaktadır. Bu düzenekte makro lensin parmak yüzeyine mesafesi 5 cm olup halka aydınlatma mekanizması da aynı mesafeye ve yüzeye 90° olacak şekilde yerleştirilmiştir. Temassız parmak görüntüsü toplanırken 16 MP kamera ve 4 Gb RAM'e sahip Samsung Note5 akıllı telefon kullanılmıştır ve yakalanan görüntülerin boyutu 3264 × 1836 pikseldir. Akıllı telefonun veri toplama düzeneğine olan mesafesi otomatik odaklanma için gerekli olan en uygun mesafeye göre konumlandırılmıştır. Parmak izinin yapısal özelliklerini daha iyi gözlemleyebilmek için farklı büyütme oranlarına sahip lensler (close-up +2, +4, +8, +10) kullanılmıştır ve akıllı telefon ile toplanan görüntülerin çözünürlüğü 560 dpi'dir. Çalışma kapsamında önerilen temassız edinim yönteminin doğruluğunu tespit edebilmek adına, geliştirilen aparat ile toplanan parmak görüntüleri aynı zamanda Papillon DS-21s optik sensör kullanılarak da toplanmıştır. Kullanılan sensörün veri yakalama yüzeyinin boyutu 20 × 20 mm ve yakalanan resmin boyutu 300 × 450 piksel olup toplanan parmak izi görüntülerinin çözünürlük değeri 500 ppi'dir. Veri edinimde kullanılan cihazların spesifikasyonları ve toplanan verinin özellikleri Çizelge 3.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.5. Veri seti oluşturma aşamasında kullanılan cihazların spesifikasyonları ve toplanan verinin özellikleri

	Akıllı telefon	Temaslı sensör
Giriş cihazının pencere boyutu	28 mm x 28 mm	20 mm x 20 mm
Çözünürlük	560 dpi	500 ppi
Yakalanan resmin boyutu	3264 x 1836 piksel	300 x 450 piksel

3.8.2. MAFIS'in test edilmesi için kullanılan veri tabanları

Literatürde temassız edinim yöntemleri kullanılarak parmak izi tanımlama/doğrulama üzerine yapılan çalışmalarda (Çizelge 3.2), önerilen yaklaşımların test edilmesi için çoğu çalışma kendi veri setini oluştururken, çoğu çalışma ise açık erişime sahip veri setlerinden faydalanmıştır. Tez çalışması kapsamında önerilen MAFIS, hem geliştirilen aparat kullanılarak toplanan parmak izleri ile hem literatürde yer alan çalışmaların incelenmesi sonucu tespit edilmiş ve erişime açık olan PolyU veri seti kullanılarak test edilmiştir [166].

Tez çalışması kapsamında önerilen MAFIS'in test edilmesi için kullanılan ilk veri seti, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği'ne ait biyometri laboratuvarında yaşları 18 ile 50 arasında değişen erkekler ve kadınlar (üniversitedeki

öğrenciler ve personel) dâhil olmak üzere 30 gönüllünün katılımı ile toplanmıştır. Her bireyin sol ve sağ işaret parmağı, geliştirilen aparat (temassız örnekler) ve bir optik sensör (temaslı örnekler) ile ayrı ayrı dört kez kayıt altına alınmıştır. Bu veri setine dair bilgilerin özeti Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında önerilen MAFIS’in test edilmesi için kullanılan ikinci veri seti, Hong Kong Politeknik Üniversitesi tarafından oluşturulmuş, CMOS dijital kamera ve sensör kullanılarak hem temaslı hem temassız yöntemlerle toplanan parmak izlerinden oluşmaktadır. Veri setinde 496 bireye ait 496 parmak (bir bireyin tek parmağı) ayrı ayrı altı kez kayıt altına alınmıştır. Veri setinin oluşturma ortamı hakkında bilgi [166] yer almaktadır. Bu veri setine dair bilgilerin özeti Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. MAFIS’in test edilmesi için kullanılan veri kümelerinin özellikleri

	PolyU	Tez Çalışmasında Toplanan Veri Seti
Kullanılan Cihazlar	Sensör+dijital kamera	Sensör+akıllı telefon+aparat
Veri kümesi açıklaması	Sensör ile toplanan 2976 örnek Kamera ile temassız toplanan 2976 örnek	Sensör ile toplanan 240 örnek Aparat ile temassız toplanan 240 örnek
Bir parmağa ait toplam örnek sayısı	Sensör ile toplanan 6 örnek Kamera ile temassız toplanan 6 örnek	Sensör ile toplanan 4 örnek Aparat ile temassız toplanan 4 örnek
Toplam örnek sayısı	5952	480

Literatürde temassız edinim yöntemleri kullanılarak parmak izi tanımlama/doğrulama üzerine yapılan çalışmalarda, önerilen yaklaşımların bir kısmı temassız toplanan parmak izlerini kendi içinde kıyaslanması üzerine doğrulama süreçlerini gerçekleştirirken, bir kısım çalışma ise temassız topladıkları parmak izlerini çapraz kıyaslamaya tabi tutarak temaslı topladıkları örneklerle de karşılaştırmıştır. Tez çalışması temel motivasyonlarından biri olan temassız edinimin temaslı edinimin yerine kullanılabileceği önerisi (hipotezi) sebebiyle, geliştirilen MAFIS’in test edilme süreci temaslı-temassız karşılaştırma olacak şekilde çapraz kıyaslama yapılarak yürütülmüştür.

3.8.3. Parmak izi eşleştirme prosedürünün belirlenmesi

Parmak izine dayalı bir biyometrik sistem genel olarak veri toplama, toplanan veriyi kullanılabilir hale getirebilmek adına gerçekleştirilen veri iyileştirme ve son olarak bu veriyi tanımlama/doğrulama yapabilmek için kullanılan bir eşleştirme modülünden oluşmaktadır.

Bu eşleştirme modülünün tasarımı parmak izlerini karşılaştırmak için tercih edilen yaklaşımlara göre farklılaşmakla birlikte (Çizelge 3.4), sunmuş olduğu sonuç aslında önerilen biyometrik sistemin tanımlama/doğrulama performansını göstermektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar sonucunda görülmektedir ki, temassız edinim ile toplanan parmak izlerinin kullanıldığı sistemlerin performans değerlendirilmesi için üç parmak izi eşleştiricisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan ilki SourceAFIS'dir [167]. SourceAFIS Java ve .NET uygulama ortamlarına implementasyonu gerçekleştirilen, açık kaynaklı, ayrıntı tabanlı AFIS kütüphanesidir. Bu kütüphane kullanılarak temaslı toplanmış parmak izleri için tanımlama/doğrulama modlarında ön işleme, ayrıntı noktası çıkarma ve eşleştirme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Fakat bu eşleştirici düşük kalitede toplanmış parmak izleri için yeteri performans gösterememektedir. Diğer bir eşleştirici Linux ortamında çalışan, açık kaynaklı, bünyesinde bulunan MINDTCT ve BOZORTH3 paketleri ile ayrıntı noktası çıkarımı ve şablon eşleştirme işlemlerini gerçekleştiren NBIS-NIST'dir [168]. Son eşleştirici ise, araştırmacılar ve biyometrik çözüm sağlayıcıları tarafından kullanılan bir ticari yazılım geliştirme kiti olan (Commercial Off the Shelf - COST) VeriFinger-SDK'dır [169]. Çalıştığı platform ve temassız edinim yöntemleri ile toplanan verilerde sunduğu ayrıntı noktası eşleştirme performansı sebebiyle, MAFIS için eşleştirme modülü tasarlanırken VeriFinger-SDK kullanılmıştır.

3.8.4. Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi

Bir biyometrik sistemin ne kadar doğru çalıştığını gözlemlemek veya başka bir deyişle biyometrik performansını ölçebilmek için, sisteme birçok erişim girişimi gerçekleştirilir. Bu girişimler sistemde tanımlı olan kaydı kullanarak gerçek bir erişim talepleri ve birlikte var olmayan bir kayıt kullanılarak gerçekleşen sahte erişim taleplerinden oluşmaktadır [170]. Bu erişim taleplerinde iki kaydın benzerlik puanları sistemin tasarımında belirlenen bir benzerlik eşik değeri kullanılarak hesaplanmalıdır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS'in sistem performansını test edebilmek için, hem geliştirilen aparat ve akıllı telefon kullanılarak toplanan parmak izleri hem PolyU temassız-temaslı parmak izi veri seti kullanılarak performans ölçütleri hesaplanmıştır. Bu performans ölçütleri aynı bireye ait parmak izlerinin eşleşme oranı ve aynı bireye ait olmayan farklı parmak izlerinin eşleşme oranı tespit edilerek hesaplanmaktadır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS'in tanımlama/doğrulama performansını ölçebilmek için, biyometrik sistemlerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan performans ölçütleri belirlenmiştir. Bu ölçütler kısaca açıklanmak istenirse [170]:

- FAR: Biyometrik bir sistemde yetkisiz bir kişiye erişim izni verme oranı için yanlış kabul oranı (false acceptance rate - FAR) kullanılmaktadır. Aynı zamanda FAR, yanlış eşleşme oranı (false match rate- FRM) olarak da ifade edilmektedir. Tez çalışması kapsamında, aynı bireye ait olmayan iki parmak izinin eşleşme oranı FAR kullanılarak hesaplanmıştır.
- FRR: Biyometrik bir sistemde yetkili bir kişiye erişim izni vermeme oranı için yanlış reddetme oranı (false rejection rate - FRR) kullanılmaktadır. Aynı zamanda FRR, yanlış eşleşme dışı oranı (false non match rate - FNMR) olarak da ifade edilmektedir. Tez çalışması kapsamında, aynı bireye ait olan iki parmak izinin eşleştirilememe oranı FRR kullanılarak hesaplanmıştır.
- Bir biyometrik sistemin doğruluğunu ölçmek için başka bir terim olan gerçek kabul oranı da (genuine accept rate- GAR) kullanılmaktadır. GAR biyometrik sistemde kontrol kriteri için belirlenen eşik değerini aşan oranı ifade etmek için kullanılmaktadır ve $GAR=1-FRR$ olarak hesaplanmaktadır.
- EER: Biyometrik bir sisteminin çalışma özelliklerini özetlemenin bir yolu, eşit hata oranı (Equal error rate- EER) veya çapraz hata oranı (crossover error rate - CER) olarak da bilinen değeri hesaplamakla mümkündür. FAR ve FRR değerlerinin eşit olduğu nokta ise EER değeridir. EER bir sistemin güvenlik düzeyini hakkında bilgi vermek için önemlidir. EER değeri ne kadar düşük ise biyometrik sistem o kadar güvenlidir.

Küçük bir FRR değeri genellikle daha büyük bir FAR değerinin oluşumuna yol açarken, küçük bir FAR değeri genellikle daha büyük bir FRR değeri anlamına gelmektedir. Genel olarak, biyometrik bir sistem güvenliğinin performans gereksinimi FAR değeri cinsinden belirlenmektedir. FAR değerinin sıfır olması, hiçbir hatalı eşleşmenin olmadığı anlamına gelmektedir.

Performans değerlendirme sonuçlarının grafiğini çizmenin iki yaygın yolu bulunmaktadır. Bunlar [170]:

- DET (Detection error trade off-Algılama hatası ödünleşimi) grafiği: Bu grafikte y ekseninde FRR, x ekseninde FAR değerleri yer almaktadır. Grafiği y eksenini hatalı

eşleşme sayısını göstermesi sebebiyle, grafiğin alt kısmına en yakın olan eğri, en iyi biyometrik performansa karşılık gelmektedir.

- ROC (Receiver operating characteristic-Alıcı işletim karakteristiği) grafiği: bu grafikte y ekseninde GAR, x ekseninde FAR değerleri yer almaktadır. Bu grafikte üst kısma doğru ilerleme biyometrik sistemin performansının artması anlamına gelmektedir.

MAFIS'in performansını değerlendirmek için, GAR, FAR ve EER performans ölçütleri ile ROC grafiği kullanılmıştır.

3.8.5. Analiz ve doğrulama

Tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS'in performans değerlendirilmesi için sistemin bileşenlerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. MAFIS hem veri edinim hem iyileştirme ve eşleştirme görevlerini gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda hem veri edinim modülünün performansını hem toplanan verinin iyileştirilmesi ve eşleştirilmesinden sorumlu modüllerin performansını ayrı ayrı analiz edebilecek senaryolara ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple, literatürde bu alanda yapılan çalışmaların da değerlendirme hususları dikkate alınarak, MAFIS'i test etmek için dört senaryo oluşturulmuştur. Bu test senaryoları aşağıda özetlenmiştir:

- *Senaryo I:* MAFIS'in iyileştirme ve eşleştirme modüllerinin performansını değerlendirmek için, temaslı yöntemlerle toplanan parmak izleri kullanılarak sistemin doğrulama başarısı ölçülmüştür. Bu ölçümü yapabilmek için oluşturulan veri seti, Veri Seti A olarak adlandırılmıştır (Çizelge 3.7). Veri Seti A'da yer alan 30 bireyin iki farklı parmağından toplanan $Q = 30 \times 2 = 60$ eşsiz parmak izi ($Q = sınıf$) ve her parmaktan toplam $p = 4$ adet ($p = örnek$) olacak şekilde, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak genuine ve imposter skoru hesaplanmıştır.
- *Senaryo II:* MAFIS'in toplama ve geliştirme modülünün performansını değerlendirmek için, hem temaslı yöntemler kullanılarak hem tez çalışması kapsamında geliştirilen aparat ve temassız parmak izi toplama düzeneği yardımıyla toplanan parmak izleri çapraz doğrulama yapılmak üzere birlikte kullanılmıştır (Çizelge 3.7). Bu sayede, MAFIS için tasarlanan algılama ve geliştirme prosedürü kullanılarak temassız toplanılan parmak izlerinin, temaslı toplanılan izlerle, barındırdıkları karakteristik veri üzerinden kıyaslanması yapılmıştır. Çapraz kıyaslama yapabilmek için oluşturulmuş veri seti, Veri

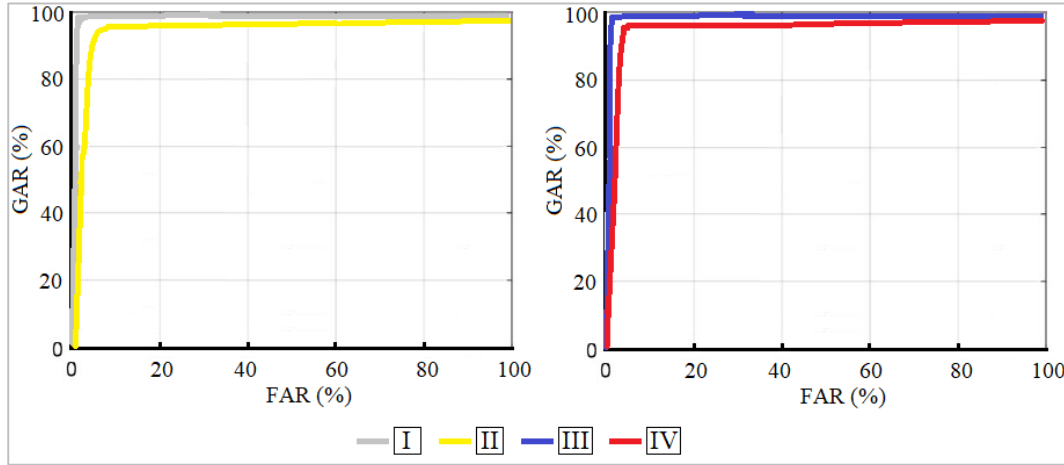
Seti B olarak adlandırılmıştır. Veri Seti B’de yer alan temaslı ve temassız yöntemlerle 30 bireyin iki farklı parmağından toplanan $Q = 30 \times 2 = 60$ eşsiz parmak izi ($Q = sınıf$) ve her parmaktan toplam $p = 4 \times 2 = 8$ adet ($p = örnek$) olacak şekilde, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak genuine ve imposter skoru hesaplanmıştır.

- *Senaryo III ve Senaryo IV*: MAFIS’i daha objektif bir gözle değerlendirebilmek için, tez çalışması kapsamında oluşturulan veri setlerinin dışında, literatürde temassız parmak izi tanımlama/doğrulama üzerine yapılan çalışmalarda yer alan erişime açık veri setleri kullanılarak, iyileştirme ve eşleştirme modüllerinin performansı değerlendirilmiştir. Tez çalışması kapsamında yapılan bu ek değerlendirme için PolyU veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinde hem temaslı hem temassız yöntemlerle toplanan parmak izleri yer almaktadır. Bu veri setindeki temaslı ve temassız toplanan parmak izi örnekleri, Senaryo I ve Senaryo II deki gibi, tek başına temaslı ve temaslı-temassız çapraz doğrulama yapabilecek şekilde gruplandırılarak Veri Seti C ve Veri Seti D oluşturulmuştur (Çizelge 3.7). Veri Seti C’de yer alan temaslı yöntemlerle 496 bireyin tek parmağından toplanan $Q = 496$ eşsiz parmak izi ($Q = sınıf$) ve her parmaktan toplam $p = 6$ adet ($p = örnek$) olacak şekilde, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak genuine ve imposter skoru hesaplanmıştır. Veri Seti D’de yer alan temaslı yöntemlerle 496 bireyin tek parmağından toplanan $Q = 496$ eşsiz parmak izi ($Q = sınıf$) ve her parmaktan toplam $p = 6 \times 2 = 12$ adet ($p = örnek$) olacak şekilde, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak genuine ve imposter skoru hesaplanmıştır.

$$\text{Genuine skor} = Qx \frac{P!}{(P-2)! 2!} \quad (3.21)$$

$$\text{Imposter skor} = p^2x \frac{Q!}{(Q-2)! 2!} \quad (3.22)$$

MAFIS, Senaryo I üzerinden değerlendirilirken, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak hesaplanan FAR ve GAR sonuçlarıyla Şekil 3.18’deki I nolu ROC eğrisi çizilmiştir. I nolu eğri MAFIS’in iyileştirme ve eşleştirme performansını göstermektedir. Geliştirilen sistemden elde edilen sonuçlar göstermektedir ki; temaslı yöntemler kullanılarak parmak izi tanımlama/doğrulama üzerine literatürde yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak, geliştirilen iyileştirme ve eşleştirme modüllerinin sunduğu performans değeri tanımlama/doğrulama süreçleri için kabul görülen aralıktadır.



Şekil 3.18. ROC eğrisi kullanılarak Veri Seti A (I eğrisi), Veri Seti B (II eğrisi), Veri Seti C (III eğrisi) ve Veri Seti D'nin (IV eğrisi) eşleşme performanslarının değerlendirilmesi

MAFIS, Senaryo II üzerinden değerlendirilirken, Eş. 3.21 ve 3.22 kullanılarak hesaplanan FAR ve GAR sonuçlarıyla, Şekil 3.18'deki II nolu ROC eğrisi çizilmiştir. Tez çalışmasının 3. bölümünün tamamı, bu eşleştirme performansının elde edilmesi adına tasarlanmıştır. Senaryo II'den elde edilen sonuçlar detaylı analiz edilmek istenirse:

- Veri Seti B hem temassız hem temaslı yöntemlerle toplanan parmak izlerinden oluşmaktadır. İki farklı edinim yöntemi ile toplanan örneklerin birlikte değerlendirilmesi, MAFIS'in toplama ve geliştirme modülünün performansını anlamlandırmak adına çok önemlidir. Veri edinim süreci parmaktan çıkartılan ayrıntı noktası haritası için farklılık oluşturabilecek en önemli etkenlerden biridir.
- II nolu ROC eğrisi göstermektedir ki, MAFIS ile toplanan parmak izleri tanımlama/doğrulama işlemleri için temaslı yöntemlerle toplanan parmak izleri ile eşdeğer sonuçlar üretebilmektedir. Başka bir deyişle temassız parmak izi toplama yöntemlerinin dezavantajlarını giderebilecek bir veri edinim düzeneği ile geliştirilen MAFIS, temaslı veri edinimi ile çalışan mevcut biyometrik tanıma/doğrulama yaklaşımlarına alternatif olarak görülebilecek bir performans değerine sahiptir.

Çizelge 3.7. MAFIS performans değerlendirilmesi için oluşturulmuş senaryolarda kullanılan veri setlerinin özellikleri

	Veri Seti A	Veri Seti B	Veri Seti C	Veri Seti D
Veri Kaynağı	Tez çalışmasında temaslı toplanan	Tez çalışmasında temaslı + temassız toplanan	PolyU temaslı toplanan	PolyU temaslı + temassız toplanan
Veri toplama yöntemi	Temaslı (sensör)	Temaslı (sensör) + Temassız (aparat)	Temaslı (sensör)	Temaslı (sensör) + Temassız (kamera)
Bir parmağa ait örnek sayısı	4	8	6	6
Farklı parmak sayısı	30	30	496	496
Toplam örnek sayısı	240	480	2976	5952

MAFIS, Senaryo III üzerinden değerlendirilirken, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak hesaplanan FAR ve GAR sonuçlarıyla, Şekil 3.18'deki III nolu ROC eğrisi çizilmiştir. Senaryo III ün gerçekleştirilmesinin tek sebebi, Senaryo IV deki çapraz karşılaştırma işleminin başarısını kıyaslayacak bir sonucun elde edilmek istenmesidir. Veri Seti C ve Veri Seti D geliştirilen MAFIS'in başka bir veri tabanı kullanılarak test edilmesi sağlamak için oluşturulmuştur. Veri Seti C, kullanılan PolyU veri tabanında temaslı yöntemlerle toplanan parmak izlerinden oluşmaktadır. Veri Seti C ile Veri Seti D kıyaslanarak harici bir veri tabanında çapraz karşılaştırmadan elde edilen sonuçlar gözlemlenmiştir.

MAFIS, Senaryo IV üzerinden değerlendirilirken, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak hesaplanan FAR ve GAR sonuçlarıyla, Şekil 3.18'deki IV nolu ROC eğrisi çizilmiştir. Senaryo IV, MAFIS'in temassız edinim yöntemleri ile oluşturulmuş diğer veri setleri üzerindeki başarısını gözlemlemek için iyi bir fırsat olarak görülmektedir. MAFIS için geliştirilen iyileştirme ve eşleştirme modüllerinin temassız toplanan parmak izlerinden oluşan diğer veri setleri üzerindeki performansı Veri Seti D kullanılarak test edilmiştir. Veri Seti D kullanılarak hesaplanan eşleştirme performansının, tez çalışması kapsamında toplanan temassız parmak izleri ile hesaplanan eşleştirme performansından küçük bir oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu performans farkının aşağıdaki sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir:

- Veri Seti D'de yer alan temassız veri edinim yöntemleri ile elde edilmiş parmak görüntülerinin ilgili bölgeleri (ROI), tez çalışması kapsamında MAFIS ile toplanan

parmak görüntülerine göre daha dar bir alana sahiptir. Temaslı edinim ile parmak yüzeyinin bir bölgesine ait karakteristik verilerin toplanması mümkündür. Fakat temassız edinim ile daha fazla özellik toplanabilmekte, bu durumda eşleştirme aşamasında aynı parmağa ait iki farklı örnekte denk düşmeyen çok fazla karakteristik özellik çıkmaktadır. Bu sebeple tez çalışması kapsamında toplanan parmak görüntüsünün ilgili bölgesinin azaltılması aynı başarıyı elde edebilmek adına yeterli olacaktır.

- Veri Seti D'deki veri edinim düzeneğinin tez çalışması kapsamında kullanılan düzenden farklı olması sebebiyle, toplanan görüntülerin kontrast değerinden kaynaklı performans farkının olduğu görülmüştür.

Literatürde parmak izi biyometrisini temel alan tanımlama/doğrulama sistemlerinin yer aldığı diğer çalışmalar ile MAFIS'in üstünlük ve eksiklik karşılaştırılması iki açıdan gerçekleştirilmelidir. Bunlardan ilki MAFIS'in algılama ve geliştirme prosedürünün diğer veri edinim yöntemleri ile kıyaslanması, ikincisi ise tanımlama/doğrulama için geliştirilen bir biyometrik sistemin sahip olması gereken kriterler göz önünde bulundurularak MAFIS ile diğer biyometrik sistemlerin kıyaslanmasıdır. Bu kıyaslamaların gerçekleştirilebilmesi için, tez çalışması kapsamında oluşturulan Veri Seti A ve Veri Seti B kullanılarak Çizelge 3.10'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.8. MAFIS'in performans değerlendirilmesi için karmaşıklık matrisinin analizi

	Veri Seti A		Veri Seti B	
	Kabul	Ret	Kabul	Ret
Kabul	Doğru Kabul Edilen (TA): 248	Yanlış Kabul Edilen (FA): 462	Doğru Kabul Edilen (TA): 1496	Yanlış Kabul Edilen (FA): 2116
Ret	Yanlış Ret Edilen (FR): 112	Doğru Ret Edilen (TR): 28218	Yanlış Ret Edilen (FR): 184	Doğru Ret Edilen (TR): 111164

Veri Seti A, MAFIS'in ön işleme ve eşleştirme prosedürlerinin performansını analiz etmek ve MAFIS'in biyometrik tanımlama/doğrulama sistemleri ile kıyaslayabilmek için oluşturulmuştur. Veri Seti B ise, MAFIS'in algılama ve geliştirme prosedürünü literatürde yer alan diğer veri edinim yöntemleri ile kıyaslamak için oluşturulmuştur.

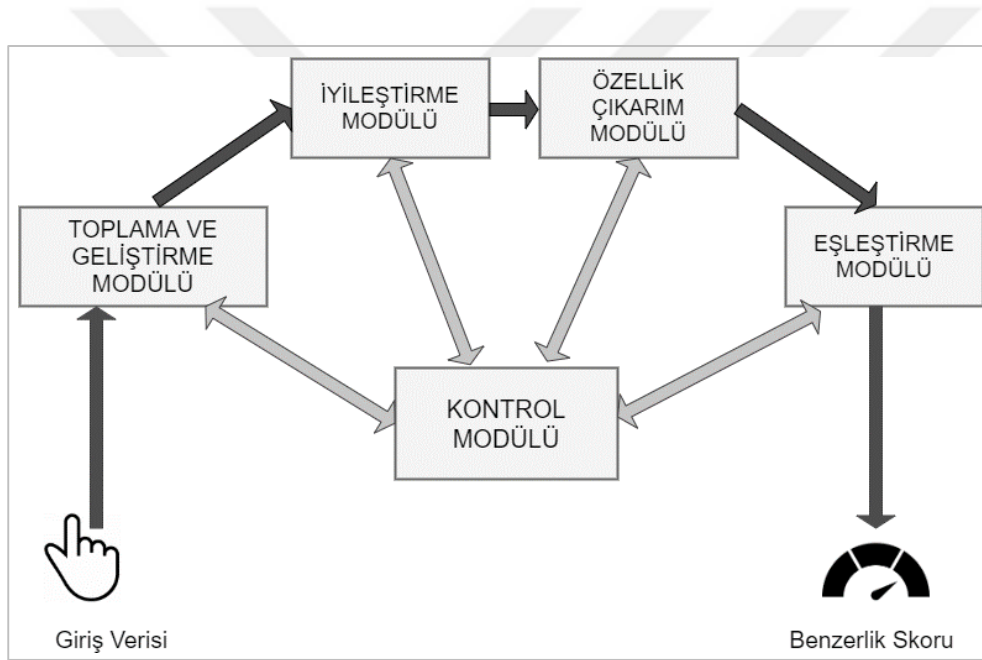
$$\text{Doğruluk (Accuracy)} = \frac{TA + TR}{TA + TR + FR + FA} \quad (3.23)$$

Çizelge 3.8' de yer alan doğru kabul sayısı, yanlış kabul sayısı, doğru ret sayısı, yanlış ret sayısı değerleri ve Eş. 3.23 kullanılarak, MAFIS'in Veri Seti A ve Veri Seti B üzerindeki

çalışması sonucu elde edilen doğruluk oranı sırasıyla %99 ve %98 olarak hesaplanmıştır. Bu doğruluk oranlarının, literatürde yer alan ve Çizelge 3.2’de özetlenen çalışmalarla kıyaslandığında, kabul görülen performans aralığında olduğu görülmüştür.

3.9. MAFIS’in Çalışma Mekanizması

Önceki bölümlerde MAFIS’i oluşturan modüllerde geliştirilen teknik ve yöntemler, kullanılan algoritmalar ve uygulanan prosedürler üzerinde durulmuştur. Bu bölümde MAFIS’in çalışma mekanizması ve MAFIS’i oluşturan modüllerin işlem gerçekleştirim sırası üzerinde durularak tüm sistemin işleyişi gösterilmektedir.

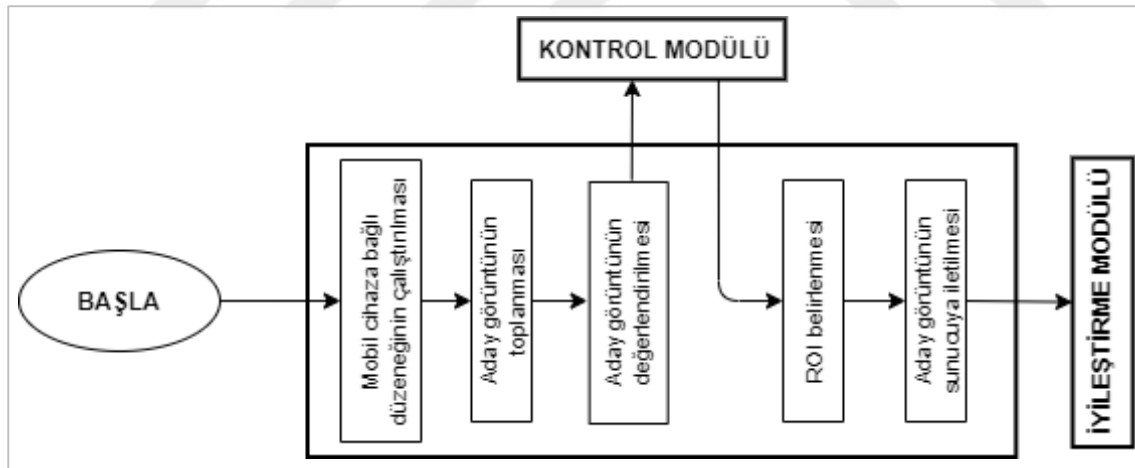


Şekil 3.19. MAFIS’in blok şeması

MAFIS beş modülden meydana gelmektedir (Şekil 3.19). Bu modüller; toplama ve geliştirme modülü, iyileştirme modülü, özellik çıkarım modülü ve eşleştirme modülüdür. MAFIS’in temel amacı, temassız parmak izi edinim yöntemlerin kullanılabilirliğini arttırmak, uygulama maliyetini düşürmek, bu yöntemler ile toplanan veri kalitesini standartlaştırmak ve bu yöntemlerinin tercih edilebilirliğini arttırmaktır. Bu amaç kapsamında tasarlanan ve MAFIS’i oluşturan modüllerin çalışma mekanizması ve geliştirilen uygulamanın çalışma basamakları anlatılarak, sistemin kullanıcı ara yüzü tarafındaki işleyişi özetlenmiştir.

Toplama ve geliştirme modülü; bir parmak görüntüsünü yakalamak ve yakalanan görüntüyü sunucuya iletmek için kullanılan bir akıllı telefon, parmak görüntüsünün biyometrik karakteristiklerinin kullanılabilirliğini sağlamak adına geliştirilmiş bir aparat ve kurulan bir veri toplama düzeneğinden oluşmaktadır. Bu modülün işleyişi maddeler halinde özetlenmek istenirse:

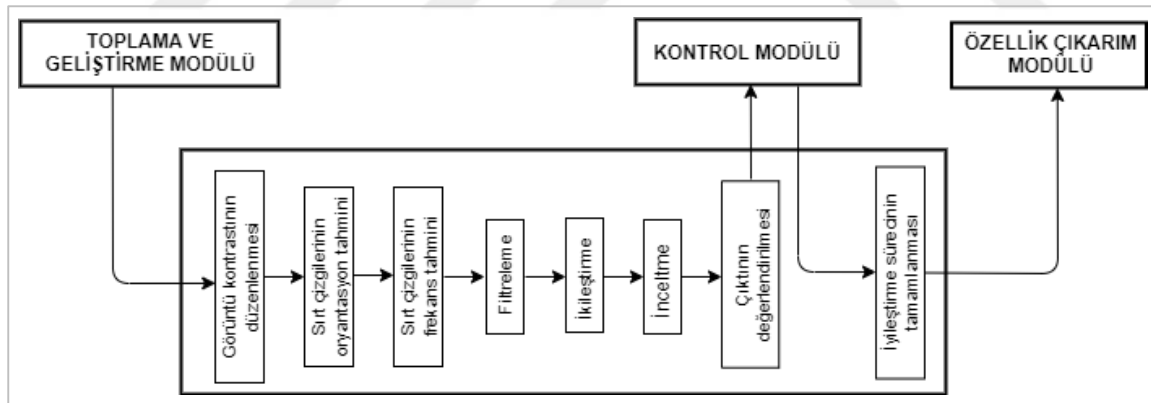
- Akıllı telefona entegre olan veri toplama düzeneği çalıştırılır. Bu düzenekte bir aydınlatma sistemi, bir mercek ve parmak görüntüsünü konumlandırmak için rehber görevi gören kavisli bir düzenek bulunmaktadır.
- Parmak görüntüsü akıllı telefon kullanılarak kayıt edilir. Sonrasında görüntü kontrol modülüne gönderilerek istenilen kriterlere sahip olup olmadığı değerlendirilir. Eğer görüntü belirlenen standartlara uygun ise sonraki adıma geçilir, değilse parmak görüntüleme süreci tekrarlanır.
- Toplanan görüntü kontrol modülü tarafından uygun görüldüyse, görüntüdeki çekirdek noktası temel alınarak ilgili bölge kırpılır. Sonrasında kırılan görüntü sunucuya iletilerek iyileştirme modülüne aktarılır.



Şekil 3.20. Toplama ve geliştirme modülü akış diyagramı

İyileştirme modülü, toplama ve geliştirme modülü ile toplanan parmak görüntüsünü bir biyometrik sistemin kullanabileceği formata dönüştürmekten sorumludur. Parmak yüzeyinin görüntüsündeki biyometrik karakteristikler gözle ayırt edilebilmekte, fakat bu karakteristikler otomatik sistemlerle ayırtanamamaktadır. Bunu sağlayabilmek için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir:

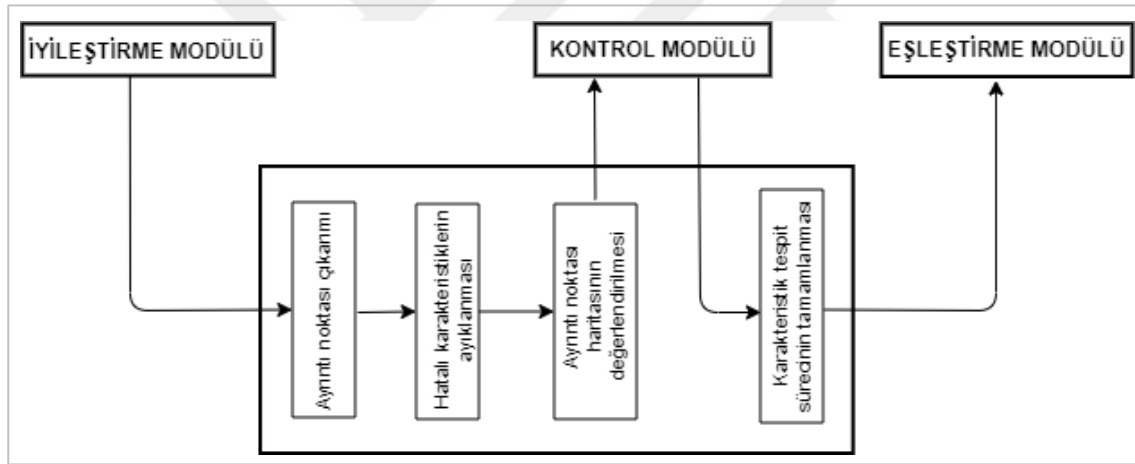
- Parmak yüzeyindeki sırt-vadi deseninin belirginleştirilebilmesi için görüntünün kontrast değerleri düzenlenir.
- Kontrast düzenlemesi ile belirgin hale gelen hat çizgilerinin yönelimleri ve sıklıkları daha sonra filtreleme basamağında kullanılmak üzere hesaplanır.
- Her ne kadar kontrast düzenlemesi yapılsa da, parmak izini oluşturan sırt-vadi şablonunda kopukluklar, boşluklar, aydınlatma sisteminden dolayı yeterli ton farklılığının yakalanamamasından kaynaklanan eksiklikler vb. giderebilmek için, hat çizgilerinin yönelimleri ve frekansları (sıklık) kullanılarak, bir filtre ile bahsi geçen bu kusurlar giderilmeye çalışılır.
- Sonrasında sırt çizgileri inceltme ve ikileştirme işlemine tabi tutularak sırt-vadi desenine ait iskelet görüntüsü elde edilmiş olunur.
- İyileştirme süreci biten parmak görüntüsünün bir biyometrik sistemde kullanılabilirliğini ölçmek için, iyileştirilen görüntü kontrol modülüne iletilir. Kontrol modülü parmak görüntüsünün yeteri kadar iyileştiğine karar verirse iyileştirme süreci tamamlanarak, iyileştirilen görüntü özellik çıkarım modülüne iletilir.



Şekil 3.21. İyileştirme modülü akış diyagramı

Akıllı telefon ile toplanan parmak görüntüsü, artık veri iyileştirme basamağı sonrası parmak izine dönüştürülmüştür. Bu aşamada, parmak izinden biyometrik sistemin tanımlama/doğrulama yapabilmesi için gerekli ayırt edici unsurların tespit edilmesi gerekmektedir. Özellik çıkarım modülü, iyileştirilmiş parmak izinde bireyi tanımlamak için kullanılacak ayrıntı noktalarını tespit etmek için geliştirilmiştir. Bu modülde:

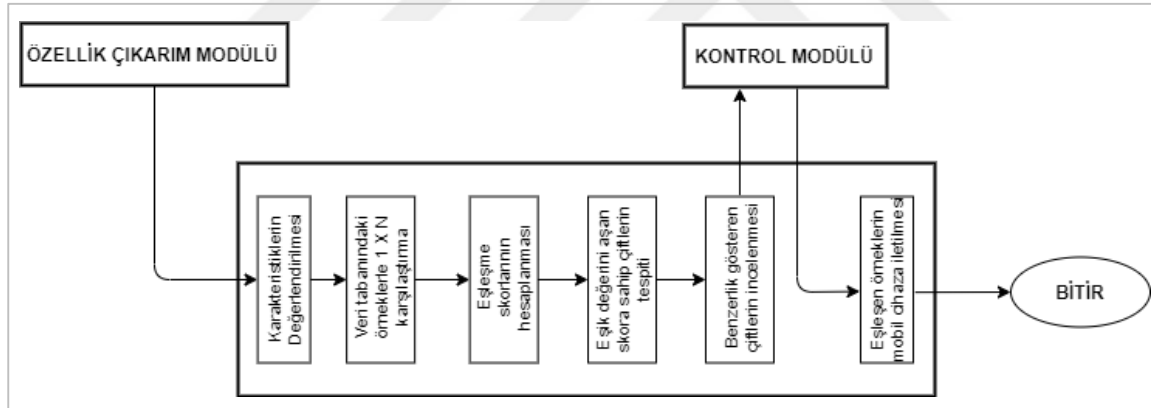
- Başlık 3.8.3’de yer alan parmak izi eşleştiricileri kullanılarak parmak izine ait ayrıntı noktaları çıkartılmıştır.
- Parmak izinin bitiş kısımlarında hatalı karakteristiklerin çıkartılmaması için her ne kadar filtreleme işlemleri gerçekleştirilse de, izin bittiği yer ayrıntı noktası olarak etiketlenebilmektedir. Bu tarz hatalı karakteristiklerin olup olmadığı kontrol edilir, varsa temizlenir.
- Sonrasında diğer ayrıntı noktalarına bakılır. Bu noktalarda görüntü toplama ve geliştirme ve/veya iyileştirme sürecinin başarısızlığından kaynaklanan hataların olup olmadığını değerlendirmek için ayrıntı noktaları işaretlenmiş parmak izi görüntüsü kontrol modülüne iletilir.
- Son olarak kontrol modülü tarafından doğrulanmış ayrıntı noktaları eşleştirme modülüne yönlendirilir.



Şekil 3.22. Özellik çıkarım modülü akış diyagramı

Parmak izine ait ayırt edici karakteristikler, bu karakteristiklerin birbirlerine göre konumları bir şablon oluşturur. Bu şablon aslında parmak izinin özetini oluşturan bir ayrıntı noktası haritasıdır. İki parmak izi karşılaştırılırken bu haritaların eşleşme oranları gözlemlenir. Bir parmağa ait iki örnekte bulunan karakteristikler veri edinim sürecinin doğası gereği hiçbir zaman aynı olmamaktadır. Bu sebeple ayrıntı noktası haritası eşleştirilirken sistemin bir seviyeye kadar toleranslı olması beklenmektedir. Bu tolerans eşleştirme modülünün eşik değeri olarak tanımlanır. Bu kavramlar dikkate alınarak geliştirilen eşleştirme modülünün işleyişi maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir:

- Özellik çıkarım modülü ile işaretlenen ayrıntı noktaları bu modülde veri tabanındaki kayıtlı diğer örneklerle ait ayrıntı noktası şablonları ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma $1 \times N$ şekilde gerçekleştirilir.
- Veri tabanındaki her örnekle karşılaştırma sonucu, karşılaştırılan çiftler arasında bir eşleşme skoru hesaplanır. Bu skor benzerlik gösteren ayrıntı noktası kümesi ve ayrıntı haritasında yakalanan benzerlik ile ilişkilidir. Benzerlik ilişkisinin artması iki örneğin aynı bireye ait olma ihtimalinin artması anlamına gelmektedir.
- MAFIS için belirlenmiş benzerlik eşiğini aşan skora sahip çiftler listelenir.
- Bazı durumlarda parmak izi çiftleri yüksek benzerlik gösterse de, benzerlik göstermeyen kısımlar iki izi ayırtmak için yeterli vasıftadır. Bu ve buna benzer senaryoların olması ihtimaline karşın, benzerlik gösteren çiftler kontrol modülü tarafından tekrar değerlendirilir.
- Benzerlik gösteren çiftler kontrol modülünün onaylamasından sonra akıllı telefona iletilir.



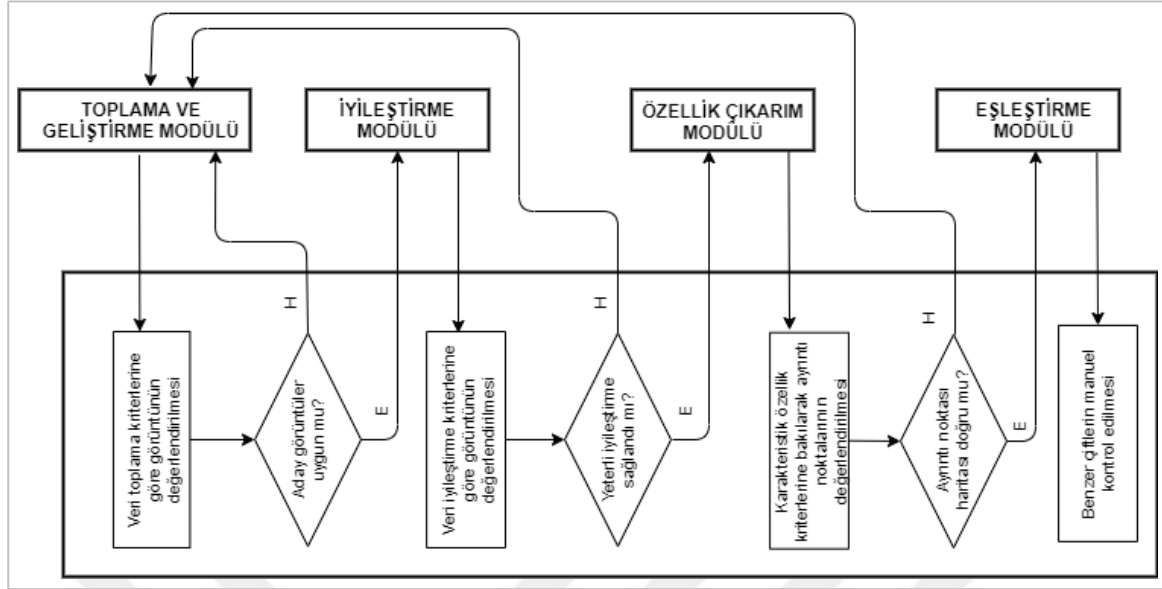
Şekil 3.23. Eşleştirme modülü akış diyagramı

Kontrol modülü MAFIS in çalışması esnasında tüm kritik kararların alındığı modüldür (Şekil 3.24). Her modülün ürettiği çıktı kontrol modülünde tekrar değerlendirilir. Tüm istenmeyen durumların önceden fark edilmesi için kontrol modülünde yer alan kriterler doğrultusunda değerlendirmeler yapılır. Modüllerin birbirleri ile ilişkileri tek yönlü iken, tüm modüllerin kontrol modülü ile ilişkisi çift yönlüdür (Şekil 3.19). Kontrol modülünün üstlendiği görevler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Toplama ve geliştirme modülünden gelen aday görüntülerin, algılama ve geliştirme prosedürüne uygunluğu kontrol edilir. Aday görüntüler, önerilen prosedürde yer alan

Çözünürlük, bulanıklık, konumlandırma vb. kriterlere bakılarak manuel değerdendirmeye alınır. Bu değerdendirmede toplanan parmak görüntüsünde gözlemlenebilen bariz bir hata yoksa toplanan aday görüntüler geliştirme modülüne iletilir.

- İyileştirme modülüne kontrol modülü tarafından iletilen aday görüntü, hem piksel boyutunda hem bağlamsal filtreleme boyutunda iyileştirilir. İyileştirilmesi tamamlanan parmak görüntüsü kontrol modülünde ikinci bir kez değerdendirilir. Burada özellikle iyileştirilemeyen bölümler üzerinde değerdendirme yapılır. İyileştirilemeyen bölümlere parmak yüzeyindeki deformasyonlar mı yoksa aydınlatma şiddeti, kullanılan mercek çözünürlüğü, parmak boyutu/pozisyonu mu sebebiyet vermekte sorusunun cevabı araştırılır. Buna ek olarak, toplama ve geliştirme modülündeki sonuçtan bağımsız olarak, parmağın özel durumundan kaynaklanan bir durum olup olmadığını anlamak için, iyileştirme modülünde kullanılan teknik ve yöntemlerin parametrik değerdeleri değıştirilmek suretiyle çalışan fonksiyonların hassasiyet değerdlerinde artış/azalış sağlanarak performans artışının gözlemlenip gözlemlenmediğine bakılır. Bu kontroller sonrasında iyileştirme modülünden alınan sonucun yeterli olmadığı kanısına varılırsa, tüm süreç en başa döndürölür.
- Özellik ıkarım modülü tarafından tespit edilen ayrıntı noktaları da kontrol modülü tarafından değerdendirilir. Çıkartılan özellikler başarılı olmayan bir iyileştirme süreci sonucu hatalı olabilmektedir. Bu ve benzeri olası ihtimaller dâhilinde kontrol durumu ayırt edici noktaların Seviye-2 özellikler olup olmadığını manuel gözlemlleme yaparak kontrol eder. Eğer ayrıntı noktası haritasında yer alan karakteristiklerde hata görürse tüm süreci başa döndürerek parmak görüntüsünün tekrar toplanması kararını verir. Eğer böyle bir problem gözlemlenmediyse, özellik çıkarım modölünün sunmuş olduğı ayrıntı noktası haritasını eşleştirme modölüne iletir.
- Kontrol modölünün son görevi eşleştirme modölü tarafından iletilen ve eşleşme skorunu aşan veri tabanındaki aday örneklerin toplanan örnek ile benzerliğini manuel olarak karşılaştırmaktır. Hem toplanan görüntünün hem veri tabanındaki görüntünün ayrıntı noktası haritalarından örtüşen ve örtüşmeyen kısımlar manuel olarak incelenir. Bu inceleme sonrası benzeşen örnekler listesi sonuç olarak eşleştirme modölüne iletilir.



Şekil 3.24. Kontrol modülü akış diyagramı

3.10. Bölüm Değerlendirilmesi

Bu bölüm, parmak izi biyometrisine dayalı bir tanımlama/doğrulama sisteminde, parmak izinin toplanması ve giriş verisi olarak sisteme dâhil olmasından başlayarak, parmak izinin bireyselleştirici özelliğinin ortaya çıkışı için gerçekleştirilen tüm işlem basamakları ve bu basamaklarda kullanılan yaklaşımların genel olarak bir özetini sunmuştur. İlk aşama olan parmak izinin algılanmasında kullanılan yöntemler değerlendirilmiş, bu yöntemlerin birbirilerine göre üstünlükleri ve eksiklikleri ortaya konulmuş, bu yöntemlerin içsel problemleri göz önüne alınarak yapılan değerlendirmeler sonucu yeni bir veri algılama prosedürü sunulmuştur. Bu prosedür, parmak izinin yeterli kalifikasyonlara sahip olması için tasarlanmış veri edinim ortamı ve veri toplama standartlarından oluşmaktadır. Sonrasında önerilen bu prosedür ile toplanan parmak izinin bir biyometrik tanımlama/doğrulama sisteminde kullanılabilirliği ortaya koymak için, bir ön işleme ve karşılaştırma prosedürü geliştirilerek toplanan parmak izi tanımlama/doğrulama işlemi için uygun forma dönüştürülmüştür. Son olarak, geliştirilen tüm bu prosedürler, hem tez kapsamında toplanan parmak izi örnekleri hem literatürde kullanılan temassız toplanmış parmak izi veri setleri kullanılarak performans değerlendirilmesine tabi tutulmuştur. Karşılaştırma prosedürü için oluşturulmuş eşleştirme senaryolarından elde edilen sonuçlar göstermektedir ki (Bkz. Şekil 3.18), alternatif bir veri algılama yöntemi ile kullanılarak tasarlanan MAFIS, baştan sona bir biyometrik tanımlama/doğrulama sisteminin işlevlerini yerine getirebilmektedir.

MAFIS, akıllı telefon kullanılarak toplanan temassız parmak izinin bir biyometrik tanımlama/doğrulama sisteminde kullanılabilirliğini göstermek için tasarlanmış bir sistemdir. MAFIS toplama ve geliştirme, iyileştirme, özellik çıkarımı, eşleştirme ve kontrol modüllerinden oluşmakta olup, sistemin çalışma mekanizması ve tüm modüllerin birbirleri ile iletişiminin tasarım modeli, parmak izine dayalı bir biyometrik tanımlama/doğrulama sisteminin bir prototipi olarak düşünülebilir. MAFIS'in geliştirilmesindeki temel amaç, yeni bir veri algılama ve geliştirme prosedürü kullanılarak toplanan parmak izlerinin literatürde yer alan mevcut iyileştirme ve eşleştirme yöntemleri ile işlenebilirliğini ve önerilen bu algılama ve geliştirme prosedürünün geleneksel yöntemlerle toplanan izlerle aynı işlevi görebileceğini göstermektir. Buna ek olarak, MAFIS'de yer alan parmak izi algılama ve geliştirme prosedürü, temaslı veri edinim yöntemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldıracak ve temassız veri edinim yöntemlerinin tasarimsal zorluklarını asgariye indirecek bir yaklaşım sunmuştur. Bununla birlikte MAFIS, hem parmak izi algılama ve geliştirme sürecinde kullanılan ekipmanlar açısından düşük maliyetli ve kullanımı uzmanlık gerektirmeyen, hem iyileştirme ve eşleştirme aşamalarında kullanılan yöntemler açısından karmaşık işlem basamakları içermeyen bir sistemdir.

Sonuç olarak MAFIS:

- Temaslı edinim yöntemlerinin içsel problemlerinin üstesinden gelmek için alternatif bir yaklaşım geliştirmek üzere yola çıkılarak,
- Temassız veri edinim yöntemi ile parmak izi toplayabilen,
- Parmak izi toplama sürecinde bireyden doğru ve kaliteli örnek alabilmek için tasarlanmış bir veri edinim düzeneğine sahip olan,
- Diğer temassız edinim yöntemleri gibi maliyetli, karmaşık, kullanımı uzmanlık gerektiren bir mekanizmaya ihtiyaç duymadan parmak izlerini toplayabilen,
- Topladığı parmak izlerini kayıt altına alabilen, iyileştirebilen, karşılaştırabilen ve eşleştirebilen ve

uçtan uca biyometrik tanımlama/doğrulama işlemini gerçekleştiren bir sistemdir. MAFIS ile benzer amaçlar için geliştirilen diğer yaklaşımlar Çizelge 3.2' de özetlenmiştir. MAFIS'in performans değerlendirilmesi için kullanılan ölçütler doğrultusunda (%98 doğruluk oranı ve

Şekil 3.18'deki ROC eğrileri), bu sistemin kabul görülen performans aralığında olduğu ispatlanmıştır.



4. MOBİL OTOMATİK GÖRÜNMEZ PARMAK İZİ TANIMA SİSTEMİ

Görünmez (latent) parmak izini bir biyometrik tanımlama/doğrulama sisteminde kullanılabilir hale getirebilmek için uygulanan birçok farklı prosedür ve bu prosedürlerde gerçekleştirilen karmaşık işlem adımları göz önüne alındığında, latent parmak izlerini tespit etmek, geliştirmek, toplamak, saklamak, aktarmak ve analiz etmek, zahmetli, maliyetli, derinlemesine bilgi ve uzmanlık gerektiren ve uzun zaman alan bir uygulamalar silsilesini gerçekleştirmekle mümkündür. Bununla birlikte, bir olay yeri yüzlerce görünmez parmak izi barındırabilmektedir, bu da harcanacak zamanda ve maliyette artışa, varılacak sonuçta ise gecikmeye sebebiyet vermektedir. Bu açıdan, olay yerinden latent parmak izinin tespiti, toplanması ve iyileştirilerek bir biyometrik tanıma/doğrulama sisteminde kullanılabilmesi için, daha pratik bir parmak izi tespit/toplama/geliştirme yaklaşımının modellenmesi gerekmektedir ve bu modelin tüm süreci hızlandıracağı düşünülmektedir. Bunu sağlamak adına, tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS (Mobile Automated Latent Fingerprint Identification System-Mobil Otomatik Görünmez Parmak İzi Tanıma Sistemi) ile yeni bir sistem önerisi yapılmıştır.

4.1. Motivasyon ve Hedefler

Parmak izi tanıma süreci, parmağa ait farklılık yaratabildiği düşünülen karakteristiklerin analizi ile gerçekleştirilen bir tespit işlemi olarak ifade edilmektedir. Fakat bu karakteristiklerin niteliksel ve niceliksel özellikleri kullanılan veri edinimi yaklaşımlarına göre çok fazla değişiklik gösterebilmektedir. Veri toplama metodolojisine bağlı olarak, parmak izleri iki gruba ayrılır: kaynağı bilinen (yuvarlanmış, düz vb. baskılar) ve kaynağı bilinmeyen (latent, patent vb. baskılar). Kaynağı bilinen parmak izi baskıları genellikle bireyin isteği dâhilinde katılımlı modda toplanması sebebiyle, toplanan veri kalitesinin yeterli olmadığı tespit edilirse edinim süreci tekrarlanabilmektedir. Kaynağı bilinmeyen parmak izleri için ise bu tekrarlanabilirlik geçerli olamamaktadır.

Latent parmak izi bireyin farkında olmadan herhangi bir yüzey veya nesne üzerinde bıraktığı bir kalıntıdır ve bu baskıları tespit etmek, toplamak ve dijitalleştirmek için bir dizi fiziksel, kimyasal ve optik müdahaleye ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleştirilen bu müdahalelerdeki herhangi bir prosedür hatalı ya da eksik gerçekleştirildiğinde parmak izi kalıntısı kalıcı

hasara uğrar ve kurtarılamaz hale gelir. Bu sebeple, latent parmak izi tespit, geliştirme ve toplama sürecinde kullanılması planlanan bütün yaklaşımlar dikkatle seçilmeli ve profesyonel bir bakış açısı ile uygulanmalıdır.

Latent parmak izlerini aramak, geliştirmek, güvenilir bir şekilde kaydetmek ve iyileştirmek adli bilimlerin üstlendiği önemli bir görevdir. Bu basamakları gerçekleştirmek adına birçok disiplin adli bilimler çatısı altında birlikte çalışmaktadır. Bu çatı altında konumlanan tüm disiplinlerin tek bir ortak amacı, yukarıda bahsi geçen basamakların etkin ve doğru şekilde gerçekleştirilmesi için latent parmak izini olabildiğince az veri kaybıyla toplayacak hizmeti sunabilmektir. Bu bakış açısıyla latent parmak izi tespiti/ toplanması/ iyileştirilmesi/ eşleştirilmesi için kullanılan mevcut yaklaşımların eksiklikleri aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

- Görünmez parmak izi baskılarını tespit edebilmek için tecrübeli uzman, ileri düzey ekipman, birçok müdahaleye ihtiyaç vardır ve tüm bu bileşenlerin birlikte kullanılmasıyla yüksek performanslı sonuçların üretilmesi arzulanır. Bu sebeple görünmez parmak izini görünür hale getirme, iyileştirme ve tanıma/doğrulama işlemleri çok meşakkatlidir. Bu işlemleri gerçekleştiren uygulamaların ve sistemlerin kullanımı profesyonellik, geliştirilmesi yüksek maliyet ve uygulanabilirliği uzun zaman alan işlem basamakları gerektirir.
- Görünmez parmak izinin lokasyonunun tespiti, görünürlüğü sağlamak için uygulanan prosedürler ve laboratuvar ortamına aktarılıp incelenmesi aşamalarında uygulanan birçok işlem basamağı farklı disiplinlerin ortaklaşa çalışması ile gerçekleşmektedir. Ortamdan toplanan her parmak izi baskısı için aynı işlem basamakları gerçekleştirilir. Ortamda çok fazla parmak izinin bulunduğu senaryolarda hangi izin suçla ilişkili olduğunu anlayabilmek adına tüm verilerin işlenmesi parmak izi analisti için zorlayıcı ve zaman alıcı bir süreçtir.
- Parmak izinin tespiti, görünür hale getirilmesi, toplanması ve detaylı incelenmesi birbirine bağlı bir zincir gibi düşünülürse herhangi birinde yaşanacak küçük bir dikkatsizlik veya hata, vakanın yanlış yorumlanmasına, delillerin kaybolmasına ve hukuki yetkililerin yanlış yönlendirilmesine sebep olabilir. Dolayısıyla bu aşamalarda görev yapan personelin bilişsel yetenek, tecrübe, fiziksel özellik ve mental dayanıklılık açısından yeterli olmaması toplanan verinin geçerliliğine doğrudan etki etmektedir.

- Görünmez parmak izi tespit etmek, geliştirmek ve toplamak için kalifiye elemanların yetiştirilmesi maliyetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu sebeple yeterli uzman sayısı sağlanamadığı koşullarda yapılan incelemelerde, uzun mesai saatleri boyunca çalışan personellerin hata yapması kaçınılmazdır.
- Ortamda bulunan görünmez parmak izi miktarına bağlı olarak uzman sayısında artış olması beklenir. Fakat sahada çalışmak için uygun kriterlere sahip eleman yetersizliği sebebiyle çoğunlukla az sayıda uzman ile inceleme gerçekleştirilmektedir. Bu durumda parmak izi verisinin toplanması uzun zaman alan ve maliyetli bir sürece dönüşmektedir.
- Parmak izi baskıları ne kadar hızlı toplanır, çözümleme yapılır ve sonuca varılırsa şüphelilerin kimlik tespiti o kadar hızlı gerçekleşir. Fakat parmak izinin kimlik tespitinde kullanılması için farklı birçok prosedürün gerçekleştirilmesi gerekir ve bu prosedürler uzun zaman alan işlem basamaklarından oluşmaktadır.

Adli bilimlerin önemli alt kollarından olan olay yeri inceleme, adli parmak izi incelemesinin gerçekleştirildiği alanlardan biridir. Bu alan, latent parmak izi incelenmesi üzerine birçok uygulama alanını bünyesinde barındırmaktadır. Katil-maktul-sebep nazarında olay yeri inceleme sosyolojik ve psikolojik bakış açısıyla incelenmesi gereken bir süreç iken, suçun canlandırılması-delilden suçluya gidiş bakış açısıyla bir polisiye vaka olarak değerlendirilebilir. Bu sebeple; suç mahalli, suçun türü/etkisi, katilin/maktulün/mağdurun durumu, suçun azmettiricisi/sebebi, delil ihtiva eden verilerin türü, analiz sürecinde kullanılması planlanan metodoloji/yöntem çeşidi, soruşturma türü vb. parametreler göz önünde bulundurularak, olay yeri farklı perspektiflerden sınıflandırılabilir. Bu tez çalışmasında olay yeri süreci bir mühendislik problemi olarak ele alınarak, latent parmak izinin tespiti, geliştirilmesi, iyileştirilmesi, toplanması, aktarılması, kayıt altına alınması ve eşleştirilmesi basamaklarının tamamını içeren tüm süreç bilgi edinme, alan uzmanının faaliyeti ve teknik değerlendirme bileşenlerine ayrılarak incelenmiştir. [29, 30]. Bu bileşenlerin her birine katkıda bulunabilecek yaklaşımların üretilebilmesi tez çalışmasının motivasyonlarından biridir. Bu kapsamda, MALFIS tasarlanırken:

- Parmak izlerinin tespiti, toplanması ve iyileştirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım önermek veya hali hazırda kullanılan yaklaşımlarda iyileştirmeler gerçekleştirmek
- Suç mahallinden elde edilen parmak izinin bir tanımlama sisteminde kullanılabilir hale getirebilen bir yaklaşım önermek

- Olay yeri araştırmacısı ile kolluk kuvvetleri arasında geçerli delil transferini basit ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmek
- Olay yeri incelemesinde kullanılmak üzere latent parmak izlerinin tespiti, kurtarılması, geliştirilmesi, iyileştirilmesi, aktarılması ve kaydedilmesi için standartlar, ilkeler ve yaklaşımlardan oluşan bir çerçeve oluşturmak
- Olay yerinden elde edilen parmak izini doğru ve derinlemesine incelemek

hedeflenmiştir.

4.2. Çalışmanın Katkısı

MALFIS, olay yeri incelemesi için maliyet, zaman, uzman ve ekipman gereksinimlerini en aza indirebilecek yeni bir sistem tasarımına verilen addır. MALFIS, düşük, orta ve yüksek çözünürlük kalitesindeki kısmi (parçalı) ya da tam parmak izinin toplanması, toplanan izin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, son olarak toplanan bu izin kimlik tespiti veya farklı amaçlar için kullanılması basamaklarının yönetilebilmesini sağlayan mobil otomatik görünmez parmak izi tanıma sistemidir. Bu sistem, latent parmak izlerini tespit etmek, geliştirmek ve toplamak için tasarlanan bir aparattan, toplanan parmak izlerini iyileştiren ve eşleştiren yöntemlerden oluşmaktadır. Önerilen sistem, mobil ortamların suç değerlendirmelerinde etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Böylelikle olay yeri inceleme sürecinin tek bir merkezden yönetilmesine ve olay yerinde sebep-sonuç ilişkisinin kurulmasına imkân veren yeni parmak izi geliştirme ve iyileştirme prosedürü önerilmiştir. Bu kapsamda, MALFIS'in sunduğu temel katkılar:

1. Olay yeri incelemesinin bileşenleri olan bilgi edinme, alan uzmanı faaliyeti ve teknik değerlendirmede kullanılmak üzere, her bir bileşenin üzerindeki yükü azaltmayı amaçlayan bir sistem geliştirme
2. Latent parmak izi üzerine çalışan alan uzmanlarının iş yükünü azaltmayı amaçlayan, kullanımı derinlemesine alan bilgisi gerektirmeyen ve insan faktörünün olay yeri incelemesindeki etkisini azaltmaya çalışan bir sistem geliştirme
3. Düşük karmaşıklık ve yüksek işlevsellik ile çalışan, parmak izlerini hızlı ve pratik bir şekilde toplayan ve işleyen bir yöntem geliştirme
4. Latent parmak izlerini pratik olarak tespit etme, toplama, saklama, aktarma ve analiz etme işlemlerini tek bir merkezden sürdüren ve yöneten bir sistem geliştirme

5. Maliyeti ve zaman alan işlem adımlarının yükünü azaltma
6. Latent parmak izlerindeki biyolojik kalıntıların (DNA, kan vb.) yapısına zarar vermeden veri tespit etme, geliştirme ve toplama
7. Olay yerinde çalışan alan uzmanı veya kullanılan geliştirme tekniklerinin neden olduğu hataları azaltmak için alternatif bir veri tespit, geliştirme ve toplama çözümü sunma
8. Olay yeri incelemesi için kompakt ve taşınabilir bir tasarım önerme

olarak özetlenmektedir.

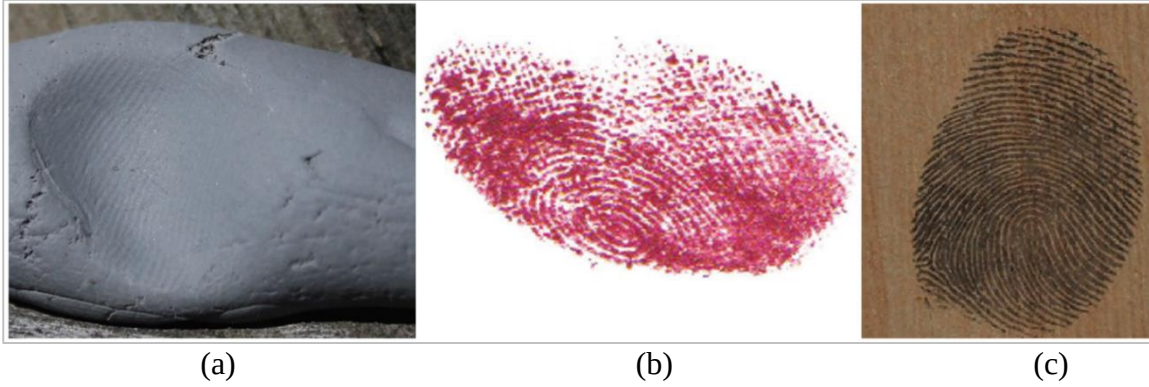
4.3. Olay Yeri İnceleme ve Parmak İzinin Kriminal Analizi

Olay yeri, kasıtlı veya kasıtsız bir şekilde suçun fiili olarak gerçekleştiği ve akabinde fiilin süregeldiği ortamda gerçekleşen eylemin yayılım alanının tamamını kapsayan bölge olarak ifade edilmektedir. Olay yeri işlenen suç ile alakalı çok fazla veri barındıran, olayın başlaması ile bitmesi arasındaki zaman diliminde kullanılan tüm ortamlardır. Bir olay yeri, bir araştırmacıya potansiyel kanıt oluşturabilecek herhangi bir fiziksel sahne olarak tasvir edilebilmektedir [171, 172]. Olay yeri inceleme ise en genel tanımı ile olay yeri-olayı gerçekleştiren-olaydan etkilenen arasındaki ilişkinin analiz edilmesi olarak ifade edilebilmektedir.

Olay yeri inceleme aslında suçluya veya işlenen suça ait herhangi bir şeyin aranması sürecidir. Bu süreçte gerçekleştirilen her faaliyetin açığa çıkarılması için kullanılacak olan olası delil niteliğindeki bilgilerin kaybolmaması gerekmektedir. Olay yerinden toplanan deliller gerçekleşen olayın oluşum biçimi, ortamda bulunan kişi veya kişiler, dış etkenler, olayın gerçekleşme sebebi ve etkilenenleri tespit etmek, işlenen suçu anlamlandırmak için kullanılan verilerdir ve bu veriler olay yeri incelemesi sonucu toplanmaktadır [171, 172]. Parmak izleri, olay yeri incelemede, olaya müdahil olan bireylerin tespiti için yaygın olarak kullanılan delillerden biridir. Parmak izi kalıcılık ve benzersizlik özellikleri nedeniyle en önemli cezai soruşturma araçlarından biridir.

Genel olarak, parmak izi toplamanın amacı bir bireyi tanımlamaktır. Söz konusu olay yerinden toplanan parmak izinin tanımlanması olduğunda, bu birey şüpheli/fail, mağdur/maktul veya tanık olabilmektedir. Olay yeri inceleme esnasında toplanan parmak izleri üç grupta incelenmektedir: latent, patent ve plastik baskılar (Şekil 4.1). Patent veya bir

diğer adı ile pozitif baskılar, parmağın derisi önce boya, kan, mürekkep vb. yabancı bir maddeye sonra ise başka bir nesnenin yüzeyine temas ettiğinde oluşan görünür baskılardır. Bu baskılar, herhangi bir teknolojik gelişme olmaksızın çıplak gözle görülebilen belirgin bir sırt izlenimi bırakır. Plastik baskılar ise parmağın mum, macun, sakız, sabun, çamur, hamur vb. yumuşak bir yüzeye dokunmasıyla ortaya çıkan baskılardır. Bu baskılar, görüntülenmesi için herhangi bir geliştirme gerektirmez, çünkü bir nesneye baskı yapılır ve bu izlenim kolaylıkla gözlemlenebilir. Parmak derisinde bulunan ter gözeneklerinden kaynaklanan terlemenin sonucu veya parmağın vücudun diğer yüzeylere dokunmasıyla parmak yüzeyine yapışan yağ, nem vb. kalıntıların sonucu, parmak yüzeyinde bir kalıntı dokusu birikir ve parmak herhangi bir yüzeye temas ettiğinde bu doku temas edilen yüzeye aktarılır. Aktarılan bu parmak hat çizgilerinin taslağı ise latent baskı olarak adlandırılır. Latent veya bir başka deyişle negatif izler çıplak gözle görülemeyen izlenimleridir. Bu parmak izleri, toplama sırasında geliştirilmek zorundadır. Olay yeri incelemede latent parmak izlerinin geliştirilmesi son derece önemlidir, çünkü bu baskılar şüpheli/fail, mağdur/maktul veya tanığın belirlenme aracı olarak hizmet etmektedir [7, 18, 37, 174].



Şekil 4.1. Plastik (a), patent (b) ve tozla geliştirmiş latent (c) parmak izi [173]

Latent parmak izleri ile daha çok ceza soruşturmalarında, özellikle suçlunun tespit edilmeye karşı bazı önlemler aldığı planlı suçlarda sıklıkla karşılaşılmaktadır. Latent parmak izlerinin geliştirilmesi patent ve plastik parmak izlerine göre daha meşakkatlidir [175]. Olay yeri incelemede latent parmak izleriyle sıklıkla karşılaşılmaması ve bu parmak izlerinin tespiti ve geliştirilmesindeki zorluklar sebebiyle, tez çalışması kapsamında latent parmak izlerine odaklanılmıştır ve geliştirilen MALFIS latent parmak izlerini tespit etmek, geliştirmek ve toplamak üzere tasarlanmıştır.

4.4. Olay Yeri İnceleme Bileşenleri

Olay yeri incelemesi bilim, mantık ve hukukun bir çatı altında ortak karar almasını gerektirir. Suç mahallini değerlendirme süreci; olay yerindeki koşulların eksiksiz ve tüm ayrıntıları ile belgelendirilmesi ve gerçekleşen sürecin etkenlerini ve etkilenenlerini tespit edecek her türlü fiziksel kanıtın toplanmasını ve değerlendirilmesini içeren uzun ve yorucu bir süreçtir [18, 24, 25]. Buna ek olarak her suç mahalli kendi spesifik özelliklerini barındırır, bu sebeple bir suç mahallinin değerlendirilmesinde ve kanıt toplanmasında gerçekleştirilen aşamalar farklı suç mahallerine doğrudan adapte edilebilen bir mekanizmaya sahip değildir.

Olay yeri incelemede soruşturma süreci çoğunlukla suç mahallinde başlar. Suç mahalli; olayın doğrudan gerçekleştiği mekân, olay yerinin yakın çevresi ve olayla bağlantılı olabilecek ve olay yerini dolaylı olarak ilgilendiren olay yerinin uzak çevresi olarak tanımlanmaktadır [176]. Olay yerine ilk ulaşan ekibin olay yerini doğru bir şekilde tanımlayabilmesi, delilleri uygun şekilde koruyabilmesi, tecrit edebilmesi ve güvence altına alabilmesi kriminal analiz sürecinin başarısına doğrudan etki etmektedir. Olay yeri soruşturmasının amacı; suç mahallinin işlenmesi, belgelenmesi, fiziksel kanıtların toplanması ve nihayetinde gerçekleşen olayın yeniden canlandırılmasıdır [176]. Bahsi geçen adımların gerçekleştirilebilmesi için bir takım çalışmasının sürdürülmesi zorunludur. Bu sebeple, olay yeri inceleme sürecinde farklı uzmanlıklara sahip personeller sırasıyla ya da ortaklaşa çalışma yapmaktadır. Olay yerinden anlamlandırılmış ve değerlendirilmeye uygun bulunmuş delil niteliğine sahip bütün veriler sonrasında kesin bir sonuç üretebilmek adına birlikte analiz edilmek üzere transfer edilmektedir [176].

Olay yeri inceleme süreci birçok bileşeni bir çatı altında toplaması ve çeşitli disiplinleri bünyesinde barındırması sebebiyle farklı yaklaşımlarla sınıflandırılarak analiz edilebilmeye uygundur. Birçok çalışmada olay yeri inceleme süreci; eyleminin gerçekleştiği yer olan suç mahallinin türü, işlenen suçun türü, kanıtın türü vb. başlıklar üzerinden adli bilimler, bilgisayar bilimleri, kriminoloji, biyoloji, fizik, kimya gibi müspet ilimler çerçevesinde farklı açılardan değerlendirildiği gibi, işlenen suçun azmettiricisi/sebebi, katilin/maktulün/mağdurun durumu vb. başlıklar üzerinden psikoloji ve sosyoloji gibi menfi ilimler çerçevesinde de farklı açılardan değerlendirilmektedir [27, 177, 178]. Yapılan tez çalışmasında da, olay yeri inceleme süreci bir mühendislik problemi olarak görülmüştür ve

tüm süreç bilgi edinme, alan uzmanının faaliyeti ve teknik değerlendirme bileşenlerine ayrılarak incelenmiştir.

4.4.1. Bilgi edinme bileşeni

Olay yeri inceleme; karmaşık değerlendirme basamaklarının eş zamanlı veya sırasıyla uygulanmasını, değerlendirme aşamasında çok çeşitli ekipmanın kullanılmasını ve uzmanların çalışmasını gerektiren kapsamlı bir süreçtir. Bu sürecin temel amacı işlenen suçun mahiyetini, etki alanını, etkilenenleri ve etki yaratanları analiz edebilmek adına bilgi toplamak ve bu bilgiler dâhilinde yaşanan olayı yeniden canlandırabilecek bir hipotezi oluşturmaktadır. Bu sebeple olay yeri incelemede, olayın canlandırılmasından mahkemeye intikal eden sonuca kadar tüm basamaklar doğrudan olay yerinden toplanan bilgiler ile ilişkilendirilmek zorundadır.

Olay yeri inceleme esnasında adli açıdan incelenecek bir parmak izinin tespiti, kayıt altına alınması, detaylı incelemeler yapılmak üzere taşınması ve saklanması aşamalarının tamamı bilgi edinme bileşeninin parçalarıdır. Bu sebeple olay yeri inceleme bileşenlerinin en kritik öneme sahip olanı bu bileşendir. Çünkü delil ihtiva eden parmak izi kalıntısının hangi metodolojiler kullanılarak tespit edileceğine, geliştirileceğine, toplanacağına ve iyileştirileceğine dair verilecek kararın, bilimin, mantığın ve hukukun kabul ettiği normlar çerçevesinde kabul edilir olması gerekmektedir.

Suç teşkil eden bir eylem her ortamda ve koşullarda gerçekleşebilir. Olay yeri, suçun gerçekleştiği yer olarak tanımlandığından, parmak izlerinin alınacağı yüzey veya nesne olayın meydana geldiği yere göre değişiklik göstermektedir. Bu sebeple adli parmak izlerinin geliştirilmesi ve toplanması için kullanılması gereken teknik ve yöntemler, parmak izinin toplanacağı yüzeyler (gözenekli, gözeneksiz), incelenecek baskı tipi (latent, patent, plastik), parmak izinin olası yaşı (yüzey kalma süresi) vb. ortam koşulları ve çevresel faktörler sebebiyle oluşan diğer birçok parametre dikkate alınarak seçilmektedir.

4.4.2. Alan uzmanının faaliyeti bileşeni

Suç mahalli incelemesi birçok kişi tarafından cezai soruşturmanın en önemli yönü olarak kabul edilir. Doğru ve adil sonuçları ortaya koyabilmek için yüksek kaliteli ve faydalı

kanıtlar, ancak olay profesyonel ve etkili bir şekilde incelenirse ortaya çıkabilmektedir. Olay yeri inceleme çok disiplinli bir çalışma mekanizması gerektirmektedir. Suç soruşturmasında yer alan görevlilerin birbirleri ile koordinasyonel ve sistematik bir çalışma yürütmesi beklenmektedir. Olay yeri incelemede gerçekleşen olaya göre çalışacak personel değişiklik gösterebilmektedir, fakat temel inceleme basamaklarında çalışan personel genel olarak aynıdır.

Olay yerini oluşturan bileşenlerden veri edinimi ve teknik değerlendirme süreçlerinin kendi içlerinde barındırdıkları problemleri giderebilmek adına uluslararası standartlar ve prosedürler kullanılarak sonuç üzerinde bir iyileştirme gerçekleştirilebilir. Fakat problemin öznesinin insan olduğu alan uzmanlığı bileşenini farklı bakış açıları ile değerlendirmek gerekmektedir. Personelin karakteristik, fiziksel ve ruhsal özellikleri doğrudan olay yeri inceleme sürecinin başarısını etkilemektedir. Olay yerinde çalışacak olan uzman; bilişsel yetenek, tecrübe, fiziksel özellik, mental dayanıklılık gibi parametreler dikkate alınarak işe alınmalıdır [179].

Tüm kolluk kuvvetleri içinde, olay yeri inceleme biriminde çalışan personeller suç mahalline en yakın olması ve suç mahallinde oldukça uzun zaman geçirmeleri sebebiyle diğer kolluk kuvvetlerine göre benzersiz stresli bir konuma sahiptir. Buna ek olarak suç mahallinde yapılan çalışmalar, soruşturmanın başarısı ve sonuçta ortaya çıkan mahkeme süreci için kritik öneme sahip olup, soruşturma sürecinin strese neden olan özelliklerini daha da arttırmaktadır. Olay yeri inceleme sürecinde; yeterli uzman sayısının maliyet, zaman, tecrübe vb. kriterler yüzünden sağlanamıyor olması, inceleme ekibinin ağır çalışma temposuna maruz kalmasına sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalar, olay yeri incelemede tecrübeleri elemanların bile hala aynı stres seviyesine sahip oldukları gerçeğini ortaya koymuştur. Buna ek olarak, karakteristik özellikler de stres seviyesini doğrudan etkilemektedir. Herhangi bir meslekte de olduğu gibi aşırı stres hata doğurur ve bu çıkarım olay yeri inceleme ekipleri için de geçerlidir. Aşırı stres riski beraberinde getirir. Bu sebeple çalışan personel başına düşen iş yükünü hafifletecek yaklaşımların gerekliliği şarttır [180]. Tez kapsamında geliştirilen MAFİS uzmana düşen bu yükü hafifletmeyi amaçlamaktadır.

4.4.3. Teknik değerlendirme bileşeni

Suç mahallini değerlendirmek bir eylem planı gerektirir. Olay yeri tespit edilip dış etkenlere karşı korumaya alındıktan sonra, gerçekleşen olayı değerlendirebilmek için, ihtisaslaşmış uzmanlar tarafından çözümleme yapmaya başlanmadan önce ilk olarak ortam eskiz (sketching) veya fotoğrafçılık kullanılarak resmedilmektedir. Akabinde delil ihtiva eden verilerin görünür olanları doğrudan toplanmaktadır, görünür olmayanları ise uzman müdahalesi ve teknik altyapı desteği ile görünür hale getirilmeye çalışılmaktadır. Sonuç itibari ile görünür kılınan veriler, eğer gerekli ise, delil aktarma ekipmanları kullanılarak laboratuvar ortamında incelenmek üzere taşınmaktadır. Laboratuvar ortamında deliller türüne göre kimyasal, bilgisayar destekli vb. farklı işlemlere tabi tutularak değerlendirilmektedir. Suçun adli davaya dönüştürülmesi sürecinde, delillere tekrar ihtiyaç olması durumunda ise, deliller veri depolama yöntemleri ile saklanmaktadır. Bu sebeple; verinin toplanması, aktarılması, değerlendirilmesi, eşleştirilmesi ve hatta saklanması hususunda birçok teknik altyapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bir olay yerinde delil toplama sürecinde; suç mahallinde kullanılmak üzere spesifik amaçlar için tasarlanmış destek araçları, iki yönlü telsiz/cep telefonları/fotoğraf makineleri ve internet bağlantılı bilgisayar, tele-adli tıp ve telekomünikasyon teknolojileri, el aletleri/adli ışık kaynakları/metal detektörleri vb. araçlar ve arama ekipmanları, spesifik olay yeri kitleri, görünmez iz kitleri, suçun yeniden canlandırılmasında kullanılan ekipman ve aksesuarlar, suçta kullanılan alet izi kitleri, görünmez baskı geliştiricilerinde kullanılan kimyasallar ve kan baskısı geliştiren reaktifler, gece görüş ekipmanları, taşınabilir lazer vb. ışık kaynakları ve aletler, veri iyileştirme ve eşleştirme için kullanılan yazılım/donanım destekli sistemler gibi ekipmanlar kullanılmaktadır [19, 24, 181].

Toplanan delillerden biyolojik ve biyometrik içeriğe sahip olanlar detaylı inceleme yapılmak üzere laboratuvar ortamına aktarılır. Detaylı laboratuvar incelenmesinde de bir dizi prosedür ve bu prosedürleri gerçekleştirmek için farklı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojinin hayatın her alanına sızmasıyla birlikte, suçların çözümlenmesi için kullanılan teknik ve yöntemlerin fütüristik ilerleme göstermesi şaşırtıcı değildir. Günümüzde kullanılan adli teknolojiler, bilim kurgu filmlerinde suçları çözümlemede kullanılan yöntemlerden bile çok ileri düzeyde olabilmektedir. Video ve ses kayıtları kullanılarak biyometrik ses ve yüz tanıma sistemleri, AFIS teknolojileri kullanılarak parmak izinden kimlik tespiti ve tükürük,

ter vb. vücut sıvılarında bulunan DNA'yı kullanarak kişi tespiti yapabilen sistemlerin tamamında teknoloji destekli tasarımlar kullanılmaktadır.

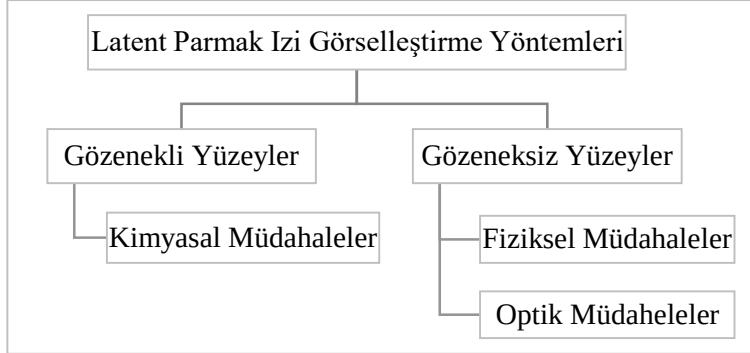
4.5. Latent Parmak İzi Geliştirme ve Görselleştirme Üzerine Genel Bir Bakış

Suç mahallinde bulunan latent parmak izlerini geliştirmenin amacı, onları çıplak gözle görünür kılmaktır. Latent parmak izleri, insan derisinin ürettiği doğal salgıların karışımı ile oluşur. Bazı durumlarda, cilt katmanını çevresel olarak kirleten diğer bileşenler de parmak izi kalıntısına karışabilmektedir. Parmak izini oluşturan ter bezi salgılarının ana bileşenleri birçok araştırmacı tarafından tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Ter salgısını oluşturan bileşiklerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edilerek, bu bileşiklerle reaksiyona girip parmak izi kalıntısının görünürlüğünü artırabilecek birçok fiziksel ve kimyasal madde belirlenmiştir. Bu maddeler latent parmak izini görünür kılmak için kullanılmaktadır [23].

Latent parmak izlerini geliştirmek için çok sayıda yöntem mevcuttur. Yüzey ve parmak izinin oluşumunda yer alan bileşenler göz önünde bulundurularak, uygun geliştirme metodolojisi belirlenmektedir [3]. Başarılı bir geliştirme için, parmak izinin bulunduğu yüzey tipini doğru bir şekilde belirlemek çok önemlidir. Pek çok latent baskı tespit ve geliştirme yöntemi mevcuttur ve yüzeyin özelliklerinin anlaşılması, kullanılacak uygun yöntemin/yöntemlerin karar verilmesine yardımcı olmaktadır [3]. Literatürde yer alan bazı çalışmalar yüzeyleri gözenekli ve gözeneksiz olarak ikiye ayırırken diğer çalışmalar ise gözenekli, yarı gözenekli ve gözeneksiz olarak üçe ayırıp daha detaylı analiz yapmaktadır [3, 37]. Yüzeyin bu şekilde sınıflandırılması, kullanılacak yöntemlerin ve bileşenlerin doğru sırayla uygulanması için önem arz etmektedir.

Gözenekli yüzeyler genellikle emicidir ve parmak izi kalıntısı bu tip yüzeylerin alt tabakası tarafından emilmektedir. Bu sebeple gözeneksiz yüzeylerdeki parmak izi kalıntıları daha uzun süre korunmaktadır. Gözeneksiz yüzeylerde ise parmak izi kalıntıları en dış katmanda bulunması ve alt katmanlar tarafından emilmemesi sebebiyle, bu tür kalıntılar dış etkenlere karşı oldukça savunmasızdır ve kolay bozulmaya uğramaktadır. Bu sebeple gözenekli yüzeylerde, yüzeyin alt tabakasındaki parmak izi ile reaksiyona girmek için yapılan işlemlerin kullandığı yöntemler daha etkili sonuçlar vermektedir. Gözeneksiz yüzeylerde ise fiziksel müdahalelerin gerçekleştiği yöntemler latent iz geliştirmek için yeterli olmaktadır.

Günümüz teknolojisinin sunduğu imkânlarla geliştirime sürecine dâhil olan optik yöntemler tek başına ya da tamamlayıcı olarak kullanılmaktadır [3, 22].



Şekil 4.2. Latent parmak izinin görünürlüğünü arttırmak için kullanılan geliştirme yaklaşımlarının yüzey tiplerine göre sınıflandırılması

Suç mahallinde latent parmak izi incelemesinde, paradoksal olan iki gerçek etrafında hareket edilmektedir: latent baskılar hemen hemen her tür yüzeyde bulunabilir ve bu baskılar her denemede geliştirilemeyebilir. Latent parmak baskısının tespit edilirken ve iyileştirilirken, delilde oluşabilecek potansiyel hasarı en aza indirme ve kanıt potansiyelini en üst düzeye çıkarma umuduyla, en az müdahale eden (invasive) ve yıkıcı (destructive) yöntemden en çok müdahale eden ve yıkıcı yöneme doğru ilerlemelidir. Bir parmak izi baskısı tespit edildikten sonra, herhangi bir geliştirme işlemi uygulanmadan fotoğrafla belgelenmeli ve ardından baskının nasıl geliştirileceği, iyileştirileceği veya görselleştirileceği, baskının bulunduğu yüzeyin yapısı, baskının yaşı, baskının bulunduğu arka planın rengi, ortam koşulları gibi birçok faktör göz önüne alınarak bir metodoloji belirlenmektedir. Tüm bu büyük denklemde, bir parmak izini tespit etmek, görselleştirmek ve geliştirmek için çok fazla yaklaşım mevcuttur ve bu yaklaşımların tamamı fiziksel geliştirme, kimyasal geliştirme, optik geliştirme ve tüm bu yöntemlerin kombinasyonlarından oluşan geliştirme olarak dört temel yöntem üzerinden gerçekleştirilmektedir [173].

Bu bölümde bahsi geçen kimyasal ve fiziksel geliştirme yöntemleri kısaca açıklanmış, MALFIS'in çalışma mekanizmasında yer alan optik geliştirme yöntemleri ise daha derinlemesine analiz edilmiştir.

4.5.1. Latent parmak izi için kullanılan fiziksel geliştirme yöntemleri

Herhangi bir kimyasal bileşen veya parmak izi kalıntısı ile reaksiyona giren bir madde kullanılmadan parmak izini görünürlüğünü arttıran yöntemler fiziksel yöntemler olarak adlandırılır. Fiziksel yöntemlerde ince partiküllerin parmak izi kalıntısına uygulanması sonucu, hat çizgilerini oluşturan sırt yapıları ile arka plan arasında bir kontrast oluşmaktadır. En yaygın kullanılan fiziksel geliştirme yöntemi inorganik tozlar ve fırça ile gerçekleştirilen tozlama yöntemidir [182]. Fakat inorganik tozlama yönteminde parmak izi kalıntısına fırça ile temas edilmesi sonucu ize müdahale edildiği için yıkıcı sonuçlar oluşabilmektedir. Cam, boyalı veya parlak plastik ve diğer cilalı, pürüzsüz ve gözeneksiz yüzeyler üzerindeki parmak izleri genellikle inorganik tozlarla geliştirilmektedir. Bir diğer bilinen fiziksel geliştirme yöntemi ise manyetik tozlamadır. Bu yöntemin avantajı ise geliştirme sürecinde fırçalama gibi herhangi temas içerikli bir müdahalenin kullanılmamasıdır. Manyetik yüzeylerde manyetik tozlama yönteminin kullanılması uygun değildir, onun yerine inorganik tozların kullanılarak latent baskı geliştirilir [173]. Parmak izi kalıntılarını geliştirmek için küçük parçacık belirteci (small particle reagent-SPR) yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. SPR yöntemi ise ıslak, kirli ve yağlı yüzeylerdeki parmak izi kalıntılarının bulunduğu durumlarda kullanılabilir. SPR, molibden sülfür taneleri ve bir deterjan solüsyonu süspansiyonudur. Bu taneler latent baskı kalıntısının yağlı bileşenlerine yapışarak parmak izinin görselleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Reaktif önce sıvı içindeki molibden sülfür taneciklerini dağıtmak için çalkalanır ve ardından latent baskı tortuları taşıdığından şüphelenilen yüzeye püskürtülür. Yüzeye daha sonra fazla reaktif çıkarmak için temiz damıtılmış su püskürtülür. Kuruduktan sonra, geliştirilmiş izlenimler fotoğraflanır veya bantla kaldırılır. SPR yöntemi, ıslak, kuru, kirli, yağlı yüzeylerde etkin sonuç vermektedir [183]. Bahsi geçen bu üç fiziksel geliştirme yöntemi dışında, farklı olay yeri inceleme senaryoları için farklı fiziksel geliştirme varyantları bulunmaktadır. Bu varyantların uygulama prosedürü, parmak izi geliştirmede kullanılan etken maddeler, etkin olduğu yüzeyler, geliştirme yöntemi, hangi koşullardaki ve özelliklerdeki parmak izine uygulanabildiği gibi birçok detay bilgiye, tez çalışmasının kapsamı dışında olması sebebiyle, bu bölümde yer verilmemiştir.

4.5.2. Latent parmak izi için kullanılan kimyasal geliştirme yöntemleri

Latent parmak izi geliştirmek için kullanılan kimyasal yöntemlerin temel çalışma mantığı, parmak izi kalıntısını oluşturan bileşiklerin bir veya birkaçı ile kimyasal bir reaksiyon gerçekleştirmek ve bu reaksiyona giren maddenin görünürlüğünü arttırarak parmak izini oluşturan sırt çizgileri ile arka plan arasındaki kontrastı arttırmaktır. En sık kullanılan kimyasal geliştirme yöntemleri arasında Ninhidrin veya Superglu (Superglu fuming) tekniği olarak da bilinen Siyanoakrilat Dumanlaması yer almaktadır [173, 184]. Amino asit reaktifi Ninhidrin, parmak izi kalıntısında yer alan amonyak veya amino asitlerle tepkimeye girerek mavimsi-mor bir renk oluşturmak suretiyle parmak izini oluşturan sırt çizgilerinin görünürlüğünü arttırmaktadır. Özellikle çoğu fiziksel geliştirme yönteminin başarılı olamadığı gözenekli yüzeylerde başarılı sonuçlar elde edebilen bu geliştirme yöntemi, alternatif ışık kaynakları (ALS) veya lazer ışık kullanılarak gerçekleştirilen geliştirme yöntemlerinde bir ön müdahale basamağı olarak da işlev görmektedir. Siyanoakrilat ester dumanlama gözeneksiz yüzeylerde parmak izinin konumu tespit etmek ve izi sabitlemek adına uygulanan bir diğer kimyasal geliştirme yöntemidir. Bu yöntemin çalışma prensibinde siyanoakrilat maddesi parmak izlerinde bulunan aminoasitlerle reaksiyona girmekte ve sonrasında polimerize olarak parmak izleri beyaz renkte görünür hale gelmektedir. Siyanoakrilat dumanlama yöntemi genellikle parmak izi geliştirmek için ilk adım olarak kullanılır, sonrasında en iyi görselleştirme veya geliştirmeyi sağlamak için baskılar genellikle tozlanmakta veya daha fazla işlenmektedir. Bu yöntem aynı zamanda, yüzeyinde parmak izi bulunan nesnenin taşınmasından önce, parmak izi baskısını sabitlemek için de kullanılmaktadır. Siyanoakrilat dumanlama ile sabitlenen parmak izi baskısı, taşıma sırasında sürtünme vb. herhangi bir etkenden kaynaklanan hasardan etkilenmemekte ve bu sayede baskının taşındığı ortamda daha karmaşık görselleştirme ve geliştirme yöntemleri uygulanabilmektedir [173, 184]. Bahsi geçen bu iki kimyasal geliştirme yöntemi dışında, parmak izini oluşturan bileşenlerle kimyasal etkileşime geçerek parmak izi geliştirmek için kullanılan harici geliştirme yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlere dair detaylı bilgiler [7, 23, 70, 174] nolu kaynaklarda yer almaktadır.

4.5.3. Latent parmak izi için kullanılan optik algılama ve geliştirme yöntemleri

Kriminal analiz için kullanılan optik algılama ve geliştirme yöntemleri temassız ve genellikle tahribatsız müdahale yöntemi olup, mevzu bahis latent parmak izi tespiti ve geliştirilmesi

olduğunda üç farklı uygulama alanına sahiptir. Özellikle sıralı işlemlerin kullanıldığı parmak izi algılama ve geliştirme için dikkate alınması gereken ilk süreçler optik müdahalelerin yer aldığı süreçlerdir ve optik yöntemler bu açıdan parmak izlerini çoğunlukla tahribatsız bir şekilde sadece tespit etmek için bir ön kontrol gerçekleştirmek adına kullanılmaktadır. Latent parmak izinin tespiti ve geliştirmesi süreçlerinde, bu işlem dizisinin en başında kullanılmasının yanı sıra, optik yöntemler bir iz delili üzerinde geliştirme performansını artırıcı ikincil bir müdahale yöntemi olarak latent parmak izinin geliştirilmesinde kullanılan fiziksel veya kimyasal bir geliştirme yönteminin tamamlayıcısı göreviyle, parmak izi ile parmak izinin bulunduğu yüzey arasındaki kontrastı arttırmak için de kullanılmaktadır. Son olarak, herhangi bir kimyasal veya fiziksel geliştirme yönteminin uygulanmasına gerek kalınmadan, latent parmak izlerini temassız, tahribatsız ve izin yapısını bozmadan geliştirmek için de optik yöntemler kullanılmaktadır [7, 174, 185]. Literatürdeki latent parmak izi algılama ve geliştirme için kullanılan temel optik yöntemlerin tasarımına, gerçekleştirmesine, uygulama prosedürlerine, etkin çalıştığı yüzeye dair daha detaylı bilgilere [7, 18, 37, 174, 186] nolu kaynaklarda yer verilmiştir.

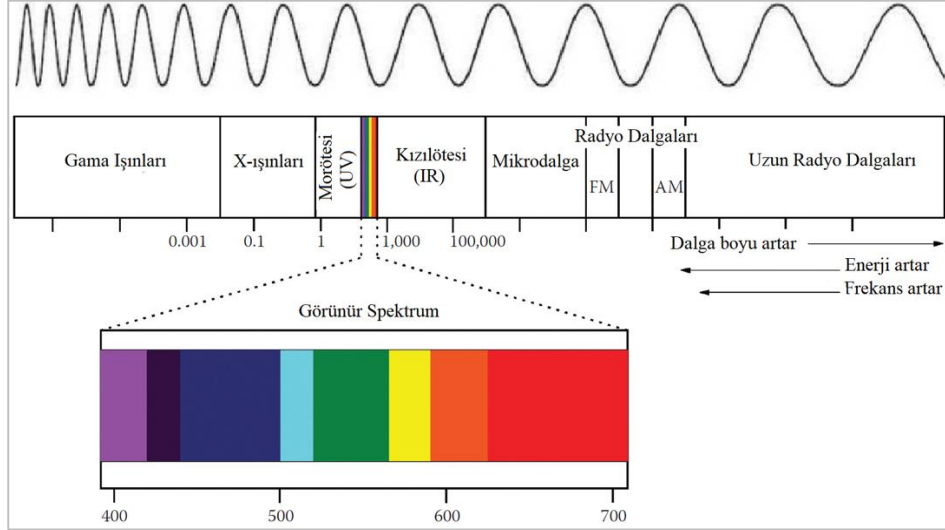
4.6. Işığın Optik Algılama ve Geliştirme Yöntemlerinde Kullanılması

Bir suç mahallinin değerlendirilmesi sırasında, yapısı gereği iz delillerinin alan uzmanları tarafından doğrudan tespit edilmesi mümkün değildir. Bu sebeple; ışık kaynakları, filtreler ve optik yasalar kullanılarak tasarlanan latent parmak izi tespit ve geliştirme yaklaşımlarıyla, suç mahalli analizi için bir avantaj sağlanmış olunur. Bu kapsamda, hem görünür spektrumdaki hem görünür spektrum dışındaki ışık enerjisini kullanarak iz delillerinin incelenmesine imkân sağlayan, literatürdeki optik algılama ve geliştirme yöntemleri aşağıdaki başlıklarda detaylı olarak açıklanmıştır.

4.6.1. Elektromanyetik radyasyon ve elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik radyasyon (veya dalga), hem elektrik hem manyetik alan bileşenlerinden oluşan, elektromanyetik ışıma enerjisi taşıyan, yayılması için ortam gerektirmeyen (uzayda kendi kendine yayılan) enerji dalgalarını ifade etmektedir. Bu dalgalar yüklü bir parçacığın ivmeli hareketi sonucu oluşur ve kendisini oluşturan manyetik ve elektrik alan bileşenlerinin oluşturduğu düzleme dik doğrultuda yayılır [187, 188]. Elektromanyetik dalgalar, frekansına göre değişik türlere ayrılmaktadır. Bu türler azalan frekans ve artan dalga boyu sırasına göre;

kozmetik radyasyon, gama radyasyonu, X-ışını radyasyonu, morötesi radyasyonu, görünür ışık radyasyonu, kızılötesi radyasyonu, mikrodalga radyasyonu ve radyo dalgaları olarak sıralanmaktadır [189]. Bu türler içerisinde görünür elektromanyetik dalgalar 390 ile 700 nanometre aralığında olup, ışık olarak tanımlanmaktadır [7, 190].



Şekil 4.3. Elektromanyetik spektrum [18]

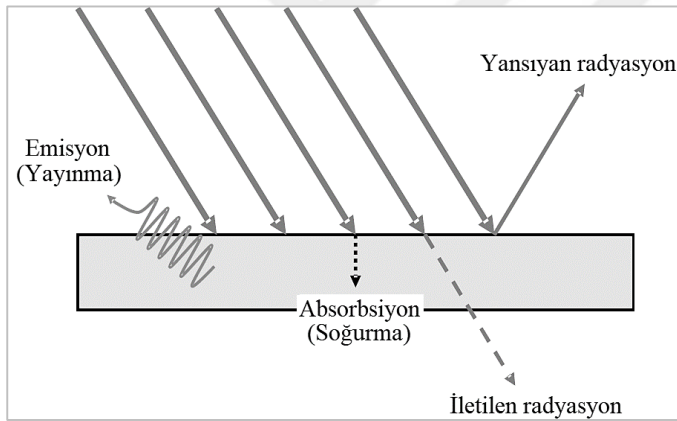
Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik dalgaların dalga boyuna göre sınıflandırılması ile oluşturulmuştur. Bu spekturumun 390 ile 700 nanometre aralığı haricindeki kısımları, çok yüksek veya çok düşük dalga boyuna sahiptir ve bu dalga boyu aralıkları ve görsel algılamamanın sınırlarının ötesindedir. Görünür ışık veya başka bir deyişle beyaz ışık bir prizmadan geçirildiğinde farklı dalga boylarına sahip yedi gökkuşağı rengine bölünmektedir (Şekil 4.3). Işığın dalga boyu nanometre (nm) cinsinden ölçülür ve ışığın dalga boyu ne kadar kısaysa ürettiği enerji o kadar büyük olur [7, 186].

Olay yeri incelemede esnasında morötesi, görünür ve kızılötesi elektromanyetik dalgalar kullanılarak tasarlanan aydınlatma mekanizmaları iz delillerini tespit etme ve görselleştirme aşamalarında kullanılmaktadır. Yüzeyin ve parmak izi kalıntısının karakteristik özellikleri dikkate alınarak, görsel değerlendirme yapmak için görünür ışıkla çalışan aydınlatma mekanizmaları farklı uygulama yöntemleri ile olay yeri incelemede ön analiz aşamasında aktif olarak kullanılırken, kimyasal ve/veya fiziksel geliştirme ile ön müdahalenin yapıldığı ve optik geliştirme yöntemlerinin tamamlayıcı olarak kullanıldığı olay yeri inceleme

örneklerinde ise morötesi ve kızılötesi bileşenler içeren aydınlatma mekanizmaları yaygın olarak kullanılmaktadır [7, 18, 22, 23, 70, 174].

4.6.2. Görünür ışık kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi

Işık, dalgalar halinde hareket eden bir elektromanyetik enerji şeklidir. Elektromanyetik bir dalga herhangi bir yüzey ile üç farklı şekilde etkileşime geçebilir: yansıma, soğrulma (emilme, absorpsiyon) ve iletilme. Bu üç etkileşim türü ayrı ayrı gerçekleşebildiği gibi, bu etkileşim türlerinden birkaçı ya da tamamı eş zamanlı olarak gerçekleşebilmektedir. Enerji korunumu yasasına göre, elektromanyetik dalganın sahip olduğu toplam enerji ile yansıyan, emilen ve iletilen enerji miktarlarının toplamı eşittir. Bu üç eylemin hangi düzeyde gerçekleştiği ise yüzeyin karakteristik özellikleriyle, enerjinin dalga boyuyla ve enerjinin yüzeye ulaşma açısıyla bağlantılıdır [7, 174].

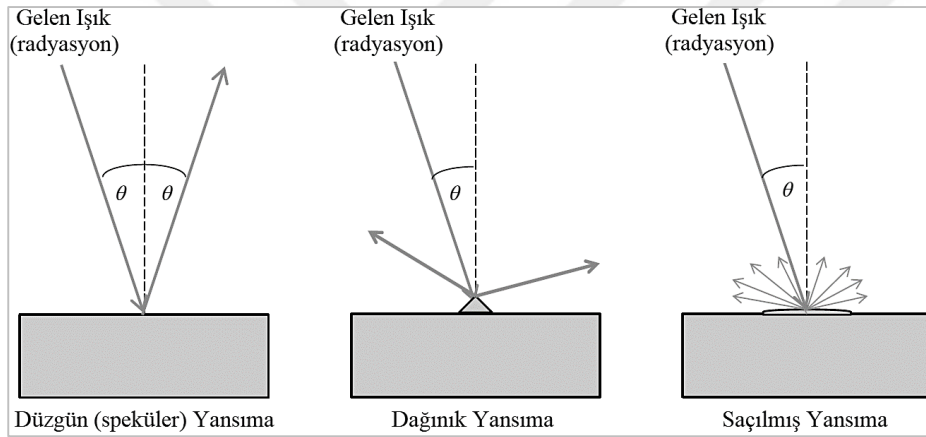


Şekil 4.4. Elektromanyetik dalga ve bir yüzey arasındaki etkileşimlerin gösterimi [174]

Şekil 4.4’de gösterilen elektromanyetik dalganın sahip olduğu bu üç farklı davranış şekline biri olan yansıma, görünür ışık kullanılarak parmak izi geliştirme yaklaşımlarından bazılarının çalışma prensibini oluşturmaktadır. Yüzeyin yapısına bağlı olarak farklı yansıma türleri meydana gelmektedir. Yüzey pürüzsüz, opak ve yüksek oranda yansıtıcı ise büyük olasılıkla speküler yansımalar meydana gelecektir. Speküler yansıma, görünür ışığın geldiği açıyla yansıması olarak tanımlanmaktadır. Yüzeylerin dokulu, opak ve yansıtıcı olduğu veya toz parçacıkları gibi düzensiz şekilli kirlenici maddelerle kaplı olduğu durumlarda, ışık kuvvetli bir şekilde dağılabilmekte ve orijinal geliş açısı ile ilgisi olmayan birçok yönde yansıyabilmektedir, bu durum dağınık yansıma olarak adlandırılır.

Yüzeyde yağ içerikli kir tabakası vb. bulunduğu durumlarda ise, yansıma geniş bir açı aralığında yayılabilir ve daha düşük yoğunlukta gerçekleşebilir, bu durum ise saçılmış yansıma olarak adlandırılır. Bu üç yansıma ait örnekler şematik olarak Şekil 4.5’de gösterilmiştir [7, 174].

Elektromanyetik dalga ile yüzey etkileşiminin son örneği ise iletimdir. Yüzey, üzerine gelen ışığın dalga boylarına karşı şeffaf olduğu durumda ışık iletilebilir. İletim esnasında ışığın kırılması farklı bir geliştirme imkânı sunabilmektedir. Işığın kırılma davranışını seçmiş olması ve kırılma seviyesi, yüzeyde bozulmaya uğramamış bölgeler ile parmak izinin bulunduğu bölgelerin ayırt edilebilmesi ve bu sayede latent parmak izinin geliştirilmesi için kullanılabilmektedir [7, 174].



Şekil 4.5. Görünür ışığın düzgün, dağınık ve saçılmış yansıma örnekleri [174]

Olay yeri incelemede sürecinde görünür ışık kullanılarak tasarlanan optik algılama ve geliştirme yöntemleri basit bir yaklaşım gibi görünse de, ışığın farklı davranışları kullanılarak (kırılma, yansıma) ışık açıları değiştirilerek ve farklı yansıma türleri kullanılarak (düzgün, dağınık, saçılmış) birçok parmak izi kalıntısı tahribatsız, kimyasal ve/veya fiziksel geliştirme yöntemleri kullanılmadan, efektif bir şekilde tespit edilebilmekte ve geliştirilebilmektedir.

4.6.3. Lüminesans etkisi kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi

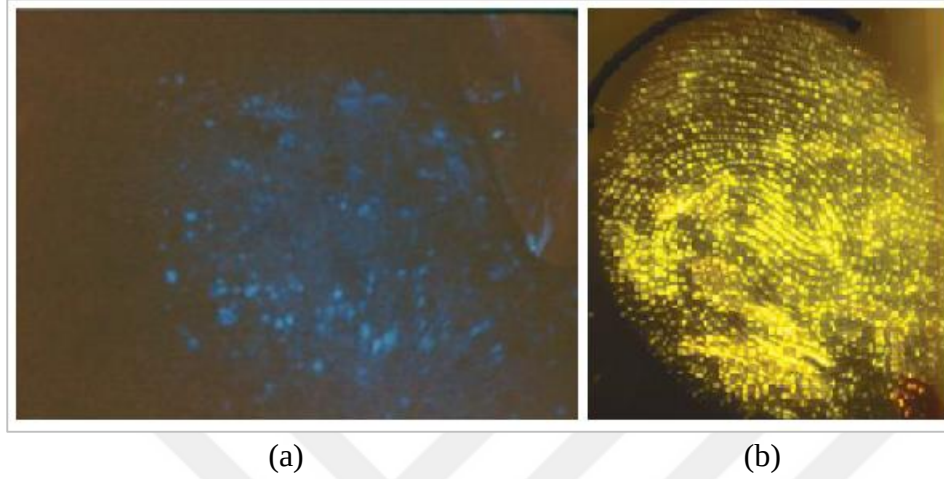
Işığın yüzeyle bir diğer etkileşimi olan absorbsiyon ve buna bağlı gerçekleşen emisyon, lüminesans ve renk kavramlarını ortaya çıkarmaktadır. Absorbsiyonda, gelen ışık yüzey

tarafından emilmekte ve ısı gibi diğer enerji biçimlerine dönüştürülebilmektedir. Fakat yüzeyin ve latent parmak izinin gelen ışığın tepkisi tüm dalga boylarında sabit değildir. Bu durumda yüzeyin ve/veya latent parmak izinin bazı nitelikleri, bir dalga boyu aralığında hem yansıma hem soğurmanın bir kombinasyonunu gerçekleştirebilir. Sonuç olarak, yüzeyin ve/veya latent parmak izinin soğurduğu ve yansıttığı renklere göre yüzeyin ve/veya latent parmak izinin görünür rengi ortaya çıkmaktadır [37].

Bazı durumlarda ışığın absorpsiyonu, latent parmak izinden ve/veya yüzeyden farklı bir dalga boyunda radyasyon emisyonunu teşvik etmek için yeterli olabilmektedir. Işık sadece dalgalar halinde hareket etmekle kalmaz, aynı zamanda ışık madde üzerinde foton olarak bilinen bir enerji birimi olarak hareket etmektedir. Bir foton, yüzey üzerinde atom düzeyinde etki yaratabilmektedir. Bir atom veya molekül, fotonun enerjisini emer ve doğal durumundan daha kararsız, uyarılmış bir duruma geçer. Atom doğal olarak temel durumunu aramaya meyillidir, bu sebeple parçacık içindeki enerji dengesini sağlayabilmek için, soğurduğu enerjiyi bir foton olarak yayar. Parçacık tarafından emilen enerji görünür ışık, morötesi, kızılötesi, X-ışınları, mikrodalgalar veya radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgalar olarak yayılır. Molekül ise enerjiyi emdiğinde, bu enerjinin bir kısmı çevredeki moleküllere aktarılır. Bu iletim sonucu enerjinin bir kısmı kullanıldığından, yayılan elektromanyetik radyasyon emilen elektromanyetik radyasyondan daha az enerjiye sahiptir, bu enerji farkına Stokes kayması denir [18, 191]. Daha önce bahsedildiği gibi, daha uzun dalga boylarına sahip ışık dalgalarının enerjisi daha düşük, daha kısa dalga boylarına sahip ışık dalgaları daha yüksek enerjiye sahiptir. Yayılan elektromanyetik radyasyon emilenden daha az enerjiye sahip olması sebebiyle, daha uzun dalga boyuna sahip bir elektromanyetik dalga yansıtılmış olunur. Bu süreç ışık emisyonu, lüminesans veya ışıldama olarak adlandırılır [7, 18].

Lüminesans, kendi içinde floresans ve fosforesans olarak ikiye ayrılır, Floresans, ışığın yüzey ile etkileşimi boyunca, yüzeydeki atom veya moleküllerin elektronlarının bir üst enerji seviyesinde bulunması, uyarmanın kesildikten sonra ise görünür ışık yayarak temel seviyeye geçiş yapmasıdır. Fosforesansın floresanstan farkı ise, hemen sönümlenmeyen daha uzun ömürlü bir lüminesans olmasıdır [7, 192-194]. Latent parmak izine lüminesans etkisi yaratabilen fiziksel ve/veya kimyasal içerikli bileşenler ile elektromanyetik radyasyon uygulandıktan sonra, optik geliştirme yöntemleri kullanılarak parmak izi ile izin bulunduğu yüzey arasındaki kontrast artırılmakta, iz delilin algılanması ve görselleştirilmesi

sağlanmaktadır [70]. Işığın emisyonundan faydalanarak gerçekleştirilen bu geliştirme yönteminin bazılarında, latent parmak izine fiziksel ve/veya kimyasal müdahale gerçekleştirilmesi sebebiyle, kalıntı tahrip edilebilmektedir.



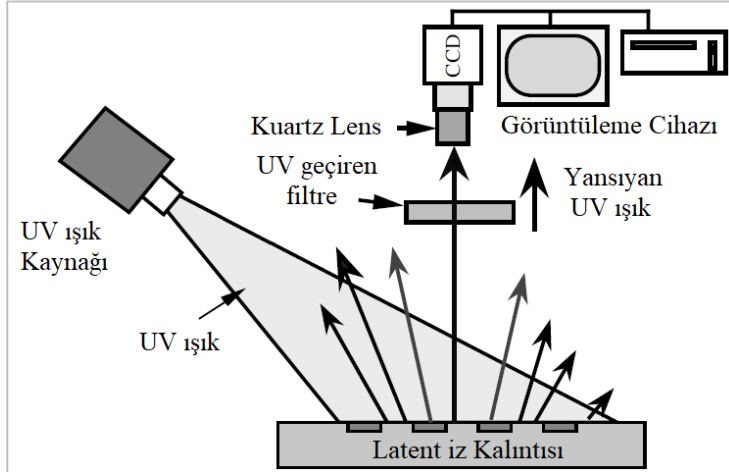
Şekil 4.6. Latent parmak izinin lüminesans tekniği ile görselleştirilmesi, (a) fosforesans (luminol) kullanılarak geliştirilmiş parmak izi, floresans (Rodamin 6G) kullanılarak geliştirilmiş parmak izi [7]

4.6.4. Morötesi (UV) aydınlatma kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi

İz delillerini geliştirmek üzere UV radyasyonu kullanılarak tasarlanmış bir dizi aydınlatma yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları UV radyasyonunun emisyonu sayesinde gözlemlenen lüminesans etkisini kullanarak iz delillerini geliştirme imkânı sunarken (Başlık 4.6.4’de anlatılmıştır), diğerleri ise UV radyasyonunun yansımasını kullanarak iz delillerini geliştirmektedir. Bu yöntemlerin tasarım mekanizmaları aşağıda sınıflandırılmıştır [37]:

- Kısa veya uzun dalga boylu UV radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilen görünür ışık emisyonu (UV-VIS lüminesans)
- Kısa dalga boylu UV radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilen uzun dalga boylu UV emisyonu (UV-UV lüminesans)
- Kısa veya uzun dalga boylu UV radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilen UV emisyonu (UV yansıması)

UV-VIS lüminesans, geliştirilme sonuçlarının çıplak gözle gözlemlenebiliyor olması sebebiyle, UV radyasyonu kullanılarak tasarlanan en basit algılama ve geliştirme



Şekil 4.8. UV radyasyon yansıması ile latent parmak izin geliştirilmesi [37]

Morötesi (UV) radyasyonu kullanılarak tasarlanan optik geliştirme mekanizmaları, kullanılan ışığın dalga boyu, filtre ve görüntüleme cihazları çeşitlilik göstermektedir ve bunların hepsini ayrıntılı olarak açıklayan birçok kaynak bulunmaktadır. Bu bölümde morötesi ışık kullanılarak iz delillerinin nasıl geliştirilebildiği ile ilgili temel yaklaşımlar üzerinde durularak bu yaklaşımların çalışma mekanizmalarına ve operasyonel uygulamalarına yer verilmiştir. Fakat genel bir değerlendirme yapmak istenirse, mor ötesi kullanılarak gerçekleştirilen adli incelemeden elde edilen sonuçları optimize etmek için dikkate alınması gereken dört faktör vardır. Bunlar:

- Aydınlatma için kullanılan ışık kaynağı
- Parmak izi kalıntısının veya izi geliştirmek için kullanılan fiziksel ve/veya kimyasal bileşenlerin ışığa tepkisi ve floresan özellikleri
- Kullanılan görüntüleme filtresi
- İz kalıntısının geliştirildiği yüzeyin karakteristik özellikleri

Bahsi geçen bu dört faktör değerlendirilerek en iyi optik geliştirme yöntemi belirlenmektedir. Morötesi radyasyonun optik algılama ve geliştirme yönteminde kullanımı hem olay yeri incelemede hem laboratuvar şartları altında gerçekleştirilebilmekle beraber, bu yöntemlerde yer alan uygulama prosedürleri uzmanlık alan bilgisi gerektirmekte, teknik ekipmanların kullanımını zorunlu kılmakta ve yöntemin uygulanması esnasında uygun sağlık ve güvenlik önlemlerin alınması gerektirmektedir. Buna ek olarak, UV radyasyonun DNA üzerinde tahrip edici etkisi olması sebebiyle, iz delilleri için biyolojik bir analiz

yapılacak ise bu etkiye dikkat edilmeli ve ona göre uygulama prosedürlerinin işlem sırası belirlenmelidir [174].

4.6.5. Kızılötesi (IR) aydınlatma kullanılarak latent parmak izi geliştirilmesi

Elektromanyetik spektrumun kızılötesine yakın bölgesinde, parmak izi iyileştirme için kullanılan mekanizmalar esasen görünür ve morötesi bölgelerinde kullanılanlarla, yani absorpsiyon ve yansıma ile aynıdır [174]. Kızılötesi radyasyonu kullanılarak lüminesans etki de oluşturulabilir ki bu yöntem günümüzde parmak izi tespit ve geliştirme için çok az kullanılmaktadır. IR ışıltama, geliştirilmek istenen öznenin mavi ışıltla aydınlatıldığı bir yöntemdir. Mavi ışılt, enerji açısından IR radyasyonundan daha yüksektir ve bu ışılt emisyonun IR'ye yakın bölgede kaydedilebildiği yerlerde lüminesansı indüklemek için kullanılmaktadır. IR radyasyonunun sebep olduğu emisyonu gözlemlemek için, görünür ışıltı geçirmeyen bir filtre görüntüleme mekanizmasında kullanılır. IR lüminesans için parmak izi kalıntıları kullanılarak tasarlanan optik geliştirme yöntemlerinin yanı sıra, kimyasal ve fiziksel geliştirme için kullanılan bileşenlerle lüminesans etki yaratabilen optik geliştirme yöntemleri de mevcuttur [186]. Bugüne kadar, latent parmak izleri tek başına IR yansıması kullanılarak geliştirilememiştir. Önce iz delilleri fiziksel ve/veya kimyasal bir ön geliştirme işlemine tabi tutulur, sonrasında IR yansıma geliştirme sürecinin performansını arttırmak için yardımcı geliştirme yöntemi olarak kullanılır [174].

4.7. MAFİS için Parmak İzi Algılama ve Geliştirme Prosedürünün Belirlenmesi

Tipik olarak bir latent parmak izinin adli bilimler açısından değerlendirilmesi; optik yöntemler kullanılarak izlerin tespitini, parmak izinin türüne/bulunduğu yüzeye/tespit edildiği ortam koşullarına/oluşum zamanına bakılarak yapılan analiz sonucu uygun malzemelerin fiziksel ve kimyasal geliştirme yöntemlerinde kullanılmasını, optik yöntemlerin temel veya yardımcı geliştirme yöntemi olarak kullanılmasını, geliştirilen latent parmak izinin bantlama/fotoğraflama vb. bir yöntem ile kaldırılmasını/kayıt altına alınmasını, toplanan delillerin bir laboratuvara detaylı analiz yapmak üzere taşınmasını içeren bir süreçtir. Geliştirildikten ve kurtarıldıktan sonra, latent parmak izleri incelenebilir ve onları geride bırakan kişiyi tanımlamak için bilinen parmak izleriyle karşılaştırılabilir. Bu uygulama çoğunlukla, bir suçla karışmış veya olay yerinde bulunmuş olabilecek kişiyi tanımlamak için kullanılır. Fakat bahsi geçen tüm bu süreci oluşturan işlem adımları,

değerlendirme için yeteri kadar zaman ayrılabildiğinde, yeterli alan uzmanına sahip olduğunda, yeterli ekipman temin edilebildiğinde ve tüm bu ihtiyaçları karşılayabilecek maliyete sahip olduğunda kolaylıkla gerçekleştirilebiliyorken, tüm bu parametrelerin aksinin var olduğu bir senaryoda nasıl bir değerlendirme sürecinin uygulanması gerektiği hakkında çok fazla yönlendirici çalışma bulunmamaktadır. Tez çalışmasını oluşturan parçalardan biri olan MAFIS bu eksiği giderebilmeyi hedefleyen, güvenilir, hızlı ve kolay, tahribatsız ve baskıya müdahale etmeden latent parmak izi toplama, geliştirme ve eşleştirme imkânı sunmaktadır.

Adli delil olan parmak izlerinin geliştirilmesi üzerine gerçekleştirilen önceki araştırmalar, farklı yüzeylerden latent parmak izi yakalayabilmek için fiziksel ve kimyasal geliştirme yöntemlerinin kullanılmasının bir zaruret olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Bu geliştirme yöntemlerinin hizmet ettiği amaç, latent parmak izinin tespiti ve geliştirilmesi için izi oluşturan sırt çizgileri ile yüzey arasında bir kontrast oluşturmak ve yakalanan parmak izini kimlik belirlemek için kullanılabilir hale getirmektir. Latent parmak izinin tespiti ve geliştirilmesi için standartlaşan kimyasal ve fiziksel geliştirme yöntemlerinin dışında, bu yöntemlerden bağımsız veya bu yöntemlere yardımcı olarak kullanılan optik geliştirme yöntemleri de bulunmaktadır.

Latent parmak izine harici bir fiziksel veya kimyasal ön müdahale kullanılmadan geliştirme yeteneğine sahip birkaç yaklaşımdan biri olan optik yöntemler detaylı olarak incelendiğinde, bu yöntemlerin özel görüntüleme düzeneklerine ve sistemlerine ihtiyaç olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). Buna ek olarak bu sistemlerin uzun kurulum süreleri, bu sistemlerde kullanılan elektromanyetik radyasyonun kullanıcıya ve hatta toplanan iz delilinde yer alan biyolojik kalıntılara zarar vermesi ve uygulandığında uzmanlık alan bilgisi gerektirmesi sebebiyle, optik yöntemler adli bilimlerde tek başına parmak izi geliştirmek için yeterli fonksiyonellikte görülmemektedir. Bu nedenle, işlenmemiş latent baskıları yakalamak için gereken süreyi ve ekipmanı azaltmak için daha verimli bir yöntem bulmak amacıyla yapılan tez çalışması sonucu MAFIS geliştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Latent parmak izi algılama ve geliştirme için kullanılan optik yöntemlerin veri topladığı yüzey, kullandığı metot ve önerdiği yaklaşımlar üzerinden özetlenmesi

Kay.	Yüzey	Kullanılan metot ve materyal	Önerilen yaklaşım
[197]	Gözeneksiz	Kromatik beyaz ışık sensörleri	Latent parmak izlerini ek doğrulama veya daha fazla analiz için kullanılabilir hale getirme
[198]	Gözeneksiz	Optik koherens tomografi	Yapışkan bandın altındaki latent parmak izini algılama ve kurtarma
[199]	Gözeneksiz	Polarizasyon ve spekül yansıma	Herhangi bir toz veya kimyasal madde uygulamadan latent parmak izi görüntülerini tespit etmek ve çıkarmak için bir yöntem sunma
[200]	Gözeneksiz	Kromatik beyaz ışık sensörleri ve kamera	Latent parmak izi lokalizasyonu için CWL tekniklerini karşılaştıran kamera tabanlı bir yaklaşımın uygulanması
[201]	Gözeneksiz	Kromatik beyaz ışık sensörleri	Latent parmak izlerinin yaş tayini
[202]	Gözeneksiz	Taşınabilir HSI ve CW yeşil lazer	İşlenmemiş latent parmak izlerinin/ avuç içi izlerinin tespiti ve üst üste binen latent parmak izlerinin/avuç içi izlerinin ayrılması
[203]	Gözeneksiz	Optik koherens tomografi	Düşük yansıtıcı yüzeylerden invaziv olmayan yöntemlerle parmak izi edinimi
[204]	Gözeneksiz	Difraktif element tabanlı sensör	Eğri nesnelerde latent parmak izlerinin algılanması
[196]	Gözeneksiz	Kısa dalga UV radyasyonu	Pürüzsüz, gözeneksiz yüzeylerde işlenmemiş latent parmak izi baskıları algılama, ultra yüksek çözünürlükte yakalama
[205]	Gözeneksiz	Uzun dalga boylu kızılötesi radyasyon ve yüksek çözünürlüklü termal görüş kamerası	Fiziksel temas ve kimyasal bileşen kullanmadan latent parmak izleri edinme
[206]	Gözenekli	Floresan nanopartiküller ve siyanoakrilat dumanlama, UV radyasyonu	Dumanlama yönteminin konjuge polimer NP'lerle birlikte kullanıldığı bir sistem tasarlayarak floresan parmak izi gelişimi için başarılı ve pratik bir yaklaşım önerme
[207]	Gözeneksiz	Floresan parmak izi tozu, kızılötesi radyasyon	Karmaşık arka planlarda daha başarılı latent parmak izi geliştirme

MALFIS, bir akıllı telefon ve latent parmak izini tespit etmek, geliştirmek ve toplamak için tasarlanan bir aparat kullanan, latent parmak izlerini dijital olarak elde edebilecek bir sistem

önerisidir. Toplanan latent görüntü kalitesini iyileştirmek için (farklı aydınlatma teknikleri ve görüntüleme de kullanılan yardımcı ekipmanlar ile) geliştirilen bu sisteme ait veri edinim ve geliştirme, iyileştirme, eşleştirme prosedürleri bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

4.7.1. Optik geliştirme yönteminin çalışma prensibi ve etkili olduğu yüzeylerin değerlendirilmesi

Bölüm 4.6’da detaylı belirtildiği üzere, optik geliştirme yöntemlerin çalışma mekanizmaları, elektromanyetik radyasyonun yüzey ile etkileşime geçiş şekline göre farklılık göstermektedir. Bu kısımda optik geliştirmenin gerçekleştirilebileceği uygun yüzeyler değerlendirilerek, tez çalışması kapsamında önerilen Malfis’in etkin olarak çalıştığı yüzeyler ve çalışma prensibine değinilmiştir.

Elektromanyetik spektrumda yer alan morötesi, görünür ve kızılötesi radyasyon optik geliştirme yöntemlerinde kullanılan aydınlatma kaynaklarıdır. Bu radyasyon türleri, yüzey ile etkileşimleri ve latent parmak izini nasıl geliştirebildikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Görünür radyasyon yüzey ile yansımaya ve kırılma eylemlerini gerçekleştirebildiği zaman parmak izini geliştirebilir. Yüzey ile etkileşimden sonra, parmak izi kalıntısına temas eden ışık saçılmış yansımaya ile kalıntının olmadığı bölgeler ise düzgün yansımaya ile cevap vererek yüzey üzerinde bir gölgelenme durumu oluşmaktadır. Bu durumda kalıntının olduğu bölge ile kalıntının olmadığı bölge arasındaki oluşan kontrast farkı görüntünün geliştirilmesi olarak tanımlanır. Bu tip optik geliştirme yöntemlerinde herhangi bir kimyasal veya fiziksel müdahaleye gerek kalmadan, basit bir düzenek ile gözeneksiz ve yansımaya özelliği olan yüzeylerden veri toplanabilmektedir.
- Yüzey, üzerine düşen görünür radyasyonu iletebilir. İletim esnasında görünür radyasyonun göstermiş olduğu bu eylem farklı bir geliştirme imkânı sunabilmektedir. Kırılma eylemi, kırılma seviyesi ve yüzeyin karakteristik özellikleri ile uygun bir kombinasyon elde edildiği takdirde, parmak izi kalıntısının olduğu bölgeler ile yüzey arasında bir dalgalanma meydana gelerek parmak izi geliştirilebilmektedir. Bu tip optik geliştirme yöntemlerinde yüzeyin spesifik özelliklerinin yanı sıra, kırılma gerçekleşen yüzeyin ve kırılan radyasyonun farklı ortam koşulları için tasarlanması gerekli olabilmesi sebebiyle efektif olarak kullanılabildiği çok fazla senaryo bulunmamaktadır. Bu yöntemlerde gözeneksiz yüzeylerden veri toplayabilmektedir.

- Morötesi ve kızılötesi radyasyonun absorpsiyon ve yansıma etkisi optik geliştirme yöntemlerinde kullanılmaktadır. Burada bu iki radyasyonun enerji seviyeleri dikkate alınarak optik geliştirme yöntemleri tasarlanmıştır. Bu yöntemler sınıflandırılmak istenirse:
- Morötesi yansımada yansıyan radyasyon gözle görülemediği için, bu yansımayı yakalayabilecek ve görünür çıktıya dönüştürebilecek bir görüntüleme mekanizmasının kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple morötesi yansıma ile latent parmak izleri ancak özel bir düzenek kullanılarak geliştirilebilmektedir. Buna ek olarak morötesi radyasyonu yansıması ile gerçekleştirilen geliştirme yöntemleri, biyolojik veriye zarar vermesi sebebiyle, parmak izinden harici bir analiz yapılacağı durumlarda kullanılamamaktadır. Bu sistemler gözeneksiz yüzeyler üzerinde etkilidir.
 - Morötesi lüminesans kullanılarak iki şekilde optik geliştirme gerçekleştirilebilmektedir: parmak izini oluşturan bileşenler analiz edilip bu bileşenlerin emisyon gerçekleştirebileceği uygun dalga boyunda bir morötesi radyasyon kullanılarak tasarlanan sistemler ve latent parmak izine uygulandıktan sonra ize yapışabilecek ve morötesi radyasyon uygulandığı zaman ışıltama etkisi yaratabilecek tozlar veya kimyasallar kullanılarak tasarlanan sistemler.
 - Morötesi lüminesansı tozlar ve kimyasallar kullanarak gerçekleştirebilen sistemlerde, kalıntıya müdahale edilmesi ve fiziksel/kimyasal bozulmaya sebebiyet vermesi durumu söz konusu olabilmektedir. Morötesi lüminesans kullanılarak geliştirilen yöntemlerden fiziksel ve kimyasal ön geliştirmenin gerçekleştirildiği senaryolarda latent parmak izleri hem gözenekli hem gözeneksiz yüzeylerden toplanabilirken, tek başına optik geliştirmenin kullanıldığı senaryolarda gözeneksiz yüzeyler üzerinden latent parmak izi toplanabilmektedir.
 - Morötesi lüminesansa, emisyon sonucu oluşan radyasyon görünür ise doğrudan bir görüntüleme düzeneği ile emisyon sonucu oluşan radyasyon yine morötesi ise özel görüntüleme düzeneğine ihtiyaç duyulmaktadır.
 - Latent parmak izleri tek başına kızılötesi yansıma kullanılarak geliştirilememektedir. Önce latent parmak izleri fiziksel ve/veya kimyasal bir ön geliştirme işlemine tabi tutulur, sonrasında kızılötesi yansıma geliştirme sürecinin performansını arttırmak için yardımcı geliştirme yöntemi olarak kullanılır. Bu sebeple, bu yöntem ile latent parmak izleri ancak özel bir düzenek kullanılarak geliştirilebilmektedir. Bu da kızılötesi yansıma kullanılarak tasarlanan optik yöntemlerin kullanılabilirlik ve

maliyet açısından tercih edilebilirliğini azaltmaktadır. Bu yöntem hem gözenekli hem gözeneksiz yüzeyler üzerinde başarılı olabilmektedir.

- Kızılötesi lüminesansın çalışma mantığı morötesi lüminesans ile benzerdir. Latent parmak izi kalıntısı veya ön geliştirmede kullanılan toz ve kimyasallar sayesinde, gerçekleşen emisyonu yakalayabilmek için özel görüntüleme düzeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Toz veya kimyasallar kullanıldığı takdirde gözenekli yüzeylerde de başarılı olabilmekle beraber, genel olarak gözeneksiz yüzeylerde kullanılmaktadır.

Görüldüğü üzere birçok optik geliştirme yöntemi gözeneksiz ve yansıtıcı özelliği olan yüzeylerde tek başına kullanıldığında etkin sonuç verirken, bir ön geliştirme sürecinin olduğu senaryolarda ise hem gözeneksiz hem gözenekli yüzeyler üzerinde başarılı geliştirme sonuçları üretebilmektedir. Optik geliştirme yöntemlerinin bir başka problemi ise, kullanılan radyasyon ile oluşan etkinin gözlemlenebilir olup olmayışına göre bir görüntüleme düzeneğinin tasarlanması ihtiyacıdır. Bu durum, farklı olay yerlerinde ve farklı koşullardaki latent parmak izlerinin toplanması için farklı veri edinim düzeneklerinin kurulması şeklinde bir sonuç doğurmaktadır.

Tüm bu olasılıklar ve tez çalışmasının motivasyonu göz önünde bulundurularak, herhangi bir kimyasal veya fiziksel bir müdahale gerçekleştirmeden, harici bir karmaşık ve maliyetli veri edinim düzeneğine ve ekipmana ihtiyaç duyulmadan, tahribatsız bir optik geliştirme yöntemi için görünür radyasyon kullanılarak gözeneksiz ve yansıtıcı özelliği olan yüzeylerden latent parmak izi toplamak amacıyla Malfis geliştirilmiştir.

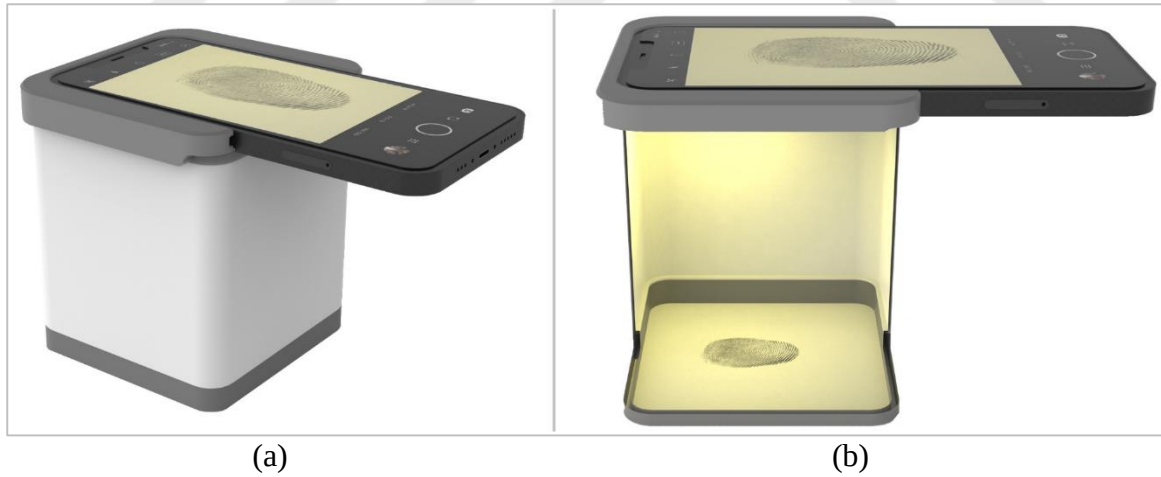
4.7.2. Veri edinim aşamasının tasarlanması

Akıllı telefonlar doğrudan biyometrik veri edinimi için tasarlanmadığından, bu cihazların latent parmak izi algılanmasında ve geliştirilmesinde kullanılabilmesi için yeni bir veri edinim ortamının tasarlanması gerekmektedir. Optik geliştirme yöntemleriyle latent parmak izinin toplanması süreci, bir veri edinim düzeneğinin kullanılmasını gerektirmektedir. Bir optik geliştirme yönteminde kullanılan düzeneğin, izin toplanacağı farklı yüzeylere göre yeniden düzenlenmesi gerekliliği farklı suç mahalli senaryolarına uyarlanabilirliğini etkilemektedir. Çoğu optik geliştirme yöntemi belirli ortam koşullarında efektif olarak çalışabilmekte ve bu yöntemlerin yer aldığı sistemlerin kullanımı uzmanlık alan bilgisi gerektiren prosedürlerden oluşabilmektedir. Malfis kapsamında önerilen optik geliştirme

yöntemine dayanan veri edinim ve geliştirme mekanizması bu prosedürlerden uzak bir uygulama ortamı sağlamaktadır.

MALFIS'in veri edinim mekanizmasının tasarım basamaklarını ifade etmek için, öncelikle bu sistemin hangi uygulama alanlarında ve hangi senaryolar üzerinde çalışabildiğine, hangi konsept için geliştirildiğine, hangi yöntem kullanılarak çalıştığına dair bilgi vermek gerekmektedir. Bu sebeple MALFIS'in etkinlik alanı, uygulanabilirliği ve kullanım kısıtları aşağıda belirtilmiştir:

- MALFIS temassız, tahribatsız ve fiziksel ve/veya kimyasal müdahale gerçekleştirilmeden latent parmak izi tespit etme, geliştirme ve toplama imkânı sunmaktadır.
- MALFIS sadece gözeneksiz, yansıma özelliği olan ve karmaşık arka plana sahip olmayan yüzeylerde etkin olarak çalışabilmektedir.
- MALFIS elektromanyetik spektrumdaki görünür radyasyonu kullanarak latent parmak izini tespit etmekte ve geliştirebilmektedir.

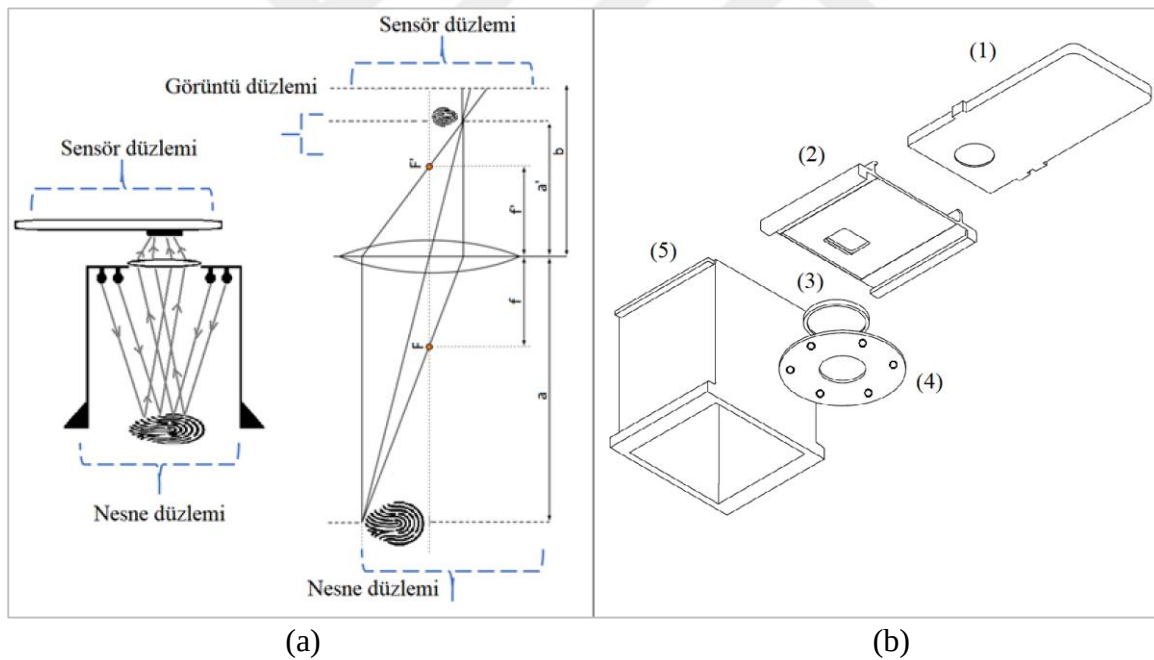


Şekil 4.9. Latent parmak izi edinme aparatı (a), MALFIS'in latent parmak izini tespit etme mekanizması (b)

MALFIS; latent parmak izini tespit etmek ve geliştirmek için tasarlanmış bir veri edinim aparatı, geliştirilen parmak izinin adli delil kriterlerine uygun bir şekilde kayıt altına alınması için kullanılan bir akıllı telefon, toplanan verinin iyileştirilmesini ve eşleştirilmesini sağlayan ardışık yöntemler dizisinden oluşan bir sistemdir. Bu sistemin veri edinim aşamasının tasarımını aşağıda maddeler halinde açıklanmaktadır:

- Başlık 4.6’da anlatıldığı üzere optik algılama ve geliştirme yöntemleri çalışma mekanizması üzerinden beş sınıfa ayrılmıştır. Bu yöntemlerin çalışabilmesi için yönteme özgü veri edinim düzeneklerinin kurulması gerekmektedir. Bu düzeneklerin kurulumu maliyetli olabilmekte, kullanılması uzmanlık gerektirebilmekte, tasarımsal özellikleri farklı suç mahalleri için yeniden düzenlenebilir olamamakta ve son olarak aydınlatma için kullanılan ışık kaynağının insan sağlığına etki edecek özellikleri olabilmektedir. Özet olarak, optik geliştirme yöntemlerinde yer alan veri edinim mekanizmaları farklı suç senaryolarında karşılaşılan farklı yüzey tiplerindeki latent parmak izlerinin tespiti için uyarlanabilirlik açısından etkin sonuç verememektedir. Bu sebeple tez kapsamında önerilen MAFIS tasarlanırken, en çok dikkat edilen hususlar, bu sistemin alan uzmanı olmayan bireyler tarafından da kullanılabilir olması, düşük maliyetli/pratik/risksiz kullanıma sahip olması ve temelde farklı olay yeri inceleme senaryoları için varyantlarının kolayca ve düşük maliyetle geliştirilebileceği bir sistem olmasıdır.
- Literatürde görünür ışık kullanılarak parmak izi tespit edildiği uygulamalar yer almakla birlikte, tek başına görünür ışık kullanılarak parmak izinin geliştirildiği yaklaşımlar üzerinde durulmamıştır. Hatta latent parmak izi üzerine oluşturulmuş ve akademik çalışmalarda kullanılan veri setlerinin tamamı bir ön geliştirme yöntemi uygulanmış latent parmak izlerinden oluşmaktadır. Bu sebeple görünür ışık kullanılarak latent parmak izinin tespiti ve geliştirilmesi aşamasında, görünür spektrumun hangi aralığında latent parmak izinin belirginliğinin en iyi durumda olduğunu gözlemleyebilmek için ampirik yöntemler kullanılmış ve en uygun sonucun sarı ışıkta elde edildiği görülmüştür.
- Latent parmak izinin bulunduğu yüzeyin yansıma özelliğine sahip ve gözeneksiz olduğu durumlarda MAFIS başarı ile çalışabilmektedir. Başlık 3.4.2’deki MAFIS’in veri edinim aşamasında kullanılan yaklaşımların çoğu MAFIS için de kullanılmıştır. MAFIS yüzeye çarpan görünür ışığın yansıması prensibine göre çalışmaktadır. Yüzeyin parmak izi kalıntısı olmayan kısımlarında yansıma speküler olurken, yüzeyin parmak izi kalıntısı olan kısımlarda saçılmış yansıma gerçekleştirilir. Bu saçılmış yansıma sonucu parmak izi kalıntısında bir kontrast değeri oluşmakta ve izin geliştirilmiş bu formatı akıllı telefon tarafından kayıt altına alınmaktadır.
- Kullanılan ışığın dalga boyuna ek olarak geliş açısı, şiddeti, latent parmak izine uzaklığı ve veri edinim için tasarlanan aparatın ize göre konumlandırılması da dikkat edilmesi gereken hususlardandır. Latent parmak izi tek bir noktadan tek bir kaynak ile aydınlatıldığında veya çok yoğun bir şekilde aydınlatıldığında, ışığın geldiği konuma karşılık gelen izin bir kısmının kısmen kaybolduğu görülmüştür. Bu nedenle birden fazla

ışık kaynağı, geliştirilen aparatın iç kısmına dairesel olarak yerleştirilmiştir. Işığın bu konumlandırılmasına dijital görüntülemeye halka ışık tekniği denir [208]. Yakın görüntülemeye kullanılan bu tarz bir aydınlatma konumlandırması, yüzey pürüzlülüğüne karşı hassasiyeti azaltır ve nesne üzerinde çok eşit bir aydınlatma sağlar. Işık kaynağı, lensin etrafında sürekli bir daire oluşturur, böylece kameranın optik eksenini etrafındaki tüm açılardan eşit aydınlatma sağlar. İki tür halka ışık vardır: flaş ve LED ışıklar [208]. Önerilen aparatın geliştirilmesi sırasında, farklı aydınlatma yoğunluklarına sahip ışık kaynakları kullanılmıştır. Nihayetinde en iyi performans, 0,2 watt ve 2 volt özellikteki, dairesel olarak ve dik açıyla konumlandırılmış altı sarı LED kullanılarak elde edilmiştir. Bu sayede latent parmak izlerindeki veri kaybı asgariye indirilmiştir. Sonrasında ise sırtlar ve yüzey arasındaki kontrastı en net şekilde yakalamak için uygun aydınlatma yoğunluğu belirlenmiştir. Önerilen bu aparat, kontrast farkını artırarak görüntü geliştirme sürecinde daha iyi bir performans elde etme imkânı sunmuştur.



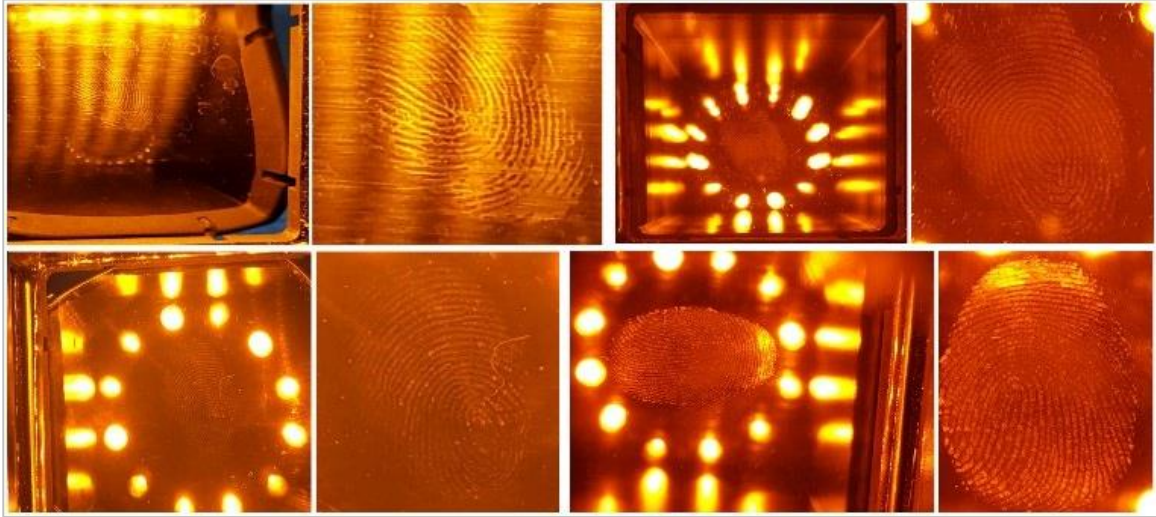
Şekil 4.10. Malfis için tasarlanan latent parmak izi tespit etme, geliştirme ve toplama aparatının çalışma düzeneği (a), patlatılmış görüntüsünün alt perspektiften görüntüsü (b)

Giriş cihazı olarak bir akıllı telefon kamerası kullanıldığında, latent parmak izi görüntüsünün uygun bir şekilde görselleştirilmesi, parmak izi tanıma için temel adımdır. Parmak izi görüntüsü keskin odaklı bir uzaklıkta olmalı, yüzeye dik olarak alınmalı, nesne-görüntü-sensör düzlemleri doğru bir şekilde ölçeklenmeli ve toplanan veri tüm kullanım amaçları için

yeterince yüksek çözünürlük ve ışıktaki yakalanmalıdır. Akıllı telefonlar doğrudan biyometrik görüntü yakalama için tasarlanmadıklarından, çekim sırasında odaklanma, bulanıklık, çözünürlük ve aydınlatmanın yeterince karşılanamadığı durumlar ortaya çıkabilir. Tüm bu parametreler MAFIS'in veri edinim mekanizması için önem arz etmekte olup Başlık 3.4.2'de detaylı olarak açıklanmıştır. Bu bölümde MAFIS için bu parametrelerin yeniden düzenlenmesi aşağıda açıklanmıştır:

- Latent parmak izleri genellikle düşük kalitedeki baskılardır. Bu sebeple latent parmak izi geliştirme düzeneği mevcut baskıyı olabildiğinde en iyi çözünürlük ve kalitede toplayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Şekil 4.10b'de görüldüğü gibi MAFIS için tasarlanan veri edinim aparatında yer alan makro lensler kullanılarak latent parmak izinin görüntü kalitesini arttırmak amaçlanmıştır.
- Şekil 4.10a'da görülmekte olan sensör düzlemi, görüntü düzlemi ve nesne düzleminin konumlarının doğru seçilmesi, geliştirilen aparat ile toplanan görüntü kalitesini doğrudan etkilemektedir. Görüntüleme esnasında akıllı telefon, makro lens ve latent parmak izi bileşenlerinin lokasyonları çözünürlük, bulanıklık ve odaklanma parametrelerine etki ettiği için, toplanan veri kalitesinin en yüksek verimde olabilmesi için bu üç bileşenin birbirlerine göre pozisyonları maksimum verim alabilecek şekilde konumlandırılmıştır.
- Maksimum odaklamayı elde etmek için görüntü mesafesi sensör mesafesine eşit olmalıdır ve görüntü düzlemi sensör düzlemine karşılık gelmelidir (Şekil 4.10a). Sensör düzlemi görüntü düzleminden kaydırıldığında, görüntü bulanıklaşır. Geliştirilen aparatta bulunan makro lens ile yüzeydeki latent parmak izi arasındaki mesafe ve lens ile akıllı telefon arasındaki mesafe Gauss lens yasası dikkate alınarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak akıllı telefonun otomatik odaklanma özelliğinden yararlanılarak maksimum odaklanmış latent parmak izleri toplanmıştır. Odak ölçümü uygun şekilde tamamlandığı için bulanıklık sorunu ortadan kaldırılmıştır. Bu şekilde, geliştirilen aparatın odak ve bulanıklık parametreleri için yeterli kriterler sağlanmıştır.

Şekil 4.11'de MAFIS için tasarlanan latent parmak izi tespit ve geliştirme aparatı ile gözeneksiz ve yansıma özelliği olan farklı yüzeylerden toplanan parmak izlerine ait örnekler yer verilmiştir.



Şekil 4.11. MALFIS ile gözeneksiz ve yansıma özelliği olan yüzeylerde toplanan latent parmak izi örnekleri

4.8. Latent Parmak İzlerinin İyileştirmesi

Latent parmak izini oluşturan sırt akış çizgilerinin iyileştirmesi, parmak izinin kalitesini arttıran ve özellik çıkarılmadan önce gerçekleştirilmesi gereken çok önemli ve gerekli bir süreçtir. Bölütlenmiş bir latent parmak izi kullanılarak geçerli ve güvenilir eşleştirme gerçekleştirilebilmesi için, iz olabildiğince iyi bir performansla iyileştirilmeli ve tanımlama/doğrulama için asgari karakteristik bilginin tespit edilmesine imkân sağlanmalıdır. Literatürde latent parmak izi iyileştirilmesi üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda iyileştirme sürecine ait bazı zorluklar tespit edilmiştir. Bu zorluklar özetlenmek istenirse:

- Latent parmak izinin oluşumu sırasında uygulanan basınçtaki farklılıklar ve geliştirme sırasında gerçekleşebilen hatalar nedeniyle, toplanan latent parmak izinde bulunan sırt desenlerinin bilgisi genellikle çok düşük kalitededir ve bu baskıların değerlendirilmesi de zordur.
- Latent baskıda yer alan gürültüden kaynaklanan ve ize ait olmayan bilgiler, aynı parmak izini oluşturan karakteristik özellikler gibi sahte çıktılar üretebilmektedir. Başka bir deyişle izin dış etkenlerden veya geliştirme sürecinden etkilenmesi sebebiyle oluşan ve sırt desenlerine benzeyen yapılandırılmış gürültü, bazen sırt bilgisinin kendisinden daha iyi gelişebilmektedir. Ayrıca, yapılandırılmış gürültü hat çizgileri bilgisi ile örtüştüğünde karakteristik özellik kaybına da sebebiyet verebilmektedir. Bu durumda, parmak izi

iyileştirilirken sahte ve sahte olmayan karakteristiklerin tespit edilebilirliğine imkân sağlayan yaklaşımların kullanılması önem arz etmektedir.

- Bir yüzeyde aynı konumda birden fazla latent parmak izi birbirleri ile çakışmış vaziyette tespit edilebilir. Bu gibi senaryolarda birbirleri ile örtüşen latent baskıları bağımsız olarak tahmin etmek ve birbirlerinden ayırmak meşakkatli bir süreçtir.
- Son olarak parmak izlerinin kaldırılabilceği ortam çok çeşitli olabileceğinden, veri edinim yüzeyinin spesifik özelliklerine göre yeniden düzenlenen iyileştirme yaklaşımlarında, kullanılan modelin eğitimde veya parametrelerinin ayarlanmasında zorluklarla karşılaşılır.

Literatürde görüntü iyileştirme üzerine yapılan çalışmaların çoğunda düz ve yuvarlanmış parmak izlerini üzerinde efektif çalışabilen yenilikçi yaklaşımlar önerilmeye odaklanılmış ve latent parmak izi iyileştirme üzerine daha az sistematik değerlendirmeye yer verilmiştir [209]. Parmak izi tanımada klasik bir ön işleme süreci olarak görülmekte olan parmak izi iyileştirme üzerine günümüze kadar birçok yaklaşım önerilmiş ve üzerinde çalışılmıştır. Bu yaklaşımlardan en geleneksel olanı, parmak izi görüntülerinden yerel yönelim ve frekans tahminini kullanan bağlamsal filtreleme yöntemidir [122, 124, 126, 138]. Daha sonra yönelim alanı tahmini üzerine çalışan yaklaşımlar parmak izi iyileştirme süreci için büyük ilgi görmüştür [210-213]. Bu yaklaşımlarda yönelim alanında daha iyi bir tahminleme yapabilmek için önce yerel yönelim tahmini kullanılmıştır ve ardından parmak izi özelliğinden daha fazla kısıtlama ekleyerek çeşitli yumuşatma teknikleri kullanılmıştır. Sonrasında uzamsal alan yaklaşımlarının yerine, iki boyutlu kısa süreli Fourier dönüşümü (STFT) yoluyla olasılıklı bir şekilde yerel yönelim ve tepe frekansı tahmini gerçekleştirilen iyileştirme yöntemi önerilmiştir [124]. Bunlara ek olarak, parmak izinin sırt çizgilerinin yönelim tahminine odaklanan global OF (orientation field) sözlük yöntemi ve bu yöntemin genişletilmiş hali olan yerelleştirilmiş OF sözlük yönteminin yanı sıra, sırt yapısından nasıl faydalanılacağına odaklanan ve parmak izinin doku bileşeni çıkarımına dayalı toplam varyasyon (total variation-TV) ve uyarlanabilir yönlü toplam varyasyon (adaptive directional total variation-ADTV) yöntemleri de özellikle latent parmak izlerinin iyileştirilmesi için geliştirilmiş yaklaşımlardır [210, 211, 214, 215].

Çizelge 4.2. Latent parmak izi iyileştirme yaklaşımlarının incelenmesi

Kay.	Amaç	Önerilen Yaklaşım	Veri Tabanı	Performans Değerlendirmesi
[216]	Yönelim tahmini	Latent parmak izleri için sözlük öğrenmeye ve seyrek kodlamaya dayalı bir yönelim tahmin algoritması	NIST SD27	RMSD: 18.44
[217]	İyileştirme	CNN'nin son gelişmelerinden esinlenen FingerNet'e dayalı yeni bir latent parmak izi geliştirme yöntemi	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[218]	Yönelim tahmini	Manuel olarak işaretlenmiş ROI ve tekil noktaları kullanan STFT ve R-RANSAC tabanlı latent parmak izi geliştirme	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[210]	İyileştirme	Referans yönlendirme yamaları sözlüğüne dayalı yeni bir parmak izi yönlendirme alanı tahmin algoritması	NIST SD27	RMSD: 16.38
[219]	İyileştirme	GAN tabanlı latent parmak izi geliştirme yöntemi	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[220]	Yönelim tahmini	Kısmi parmak izleri için oryantasyon alanı tabanlı bir kayıt algoritması	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[221]	İyileştirme	SIFT kullanarak latent parmak izleri için geliştirme ve eşleştirme	FVC-2004 IITD-latent	Ayrıntı noktalarının eşleşme skorları tablo ile gösterilmiştir.
[222]	İyileştirme	DCNN ve FFT kullanarak uçtan uca bir parmak izi eşleştirme sistemi geliştirme	FVC2002 FVC2004 NIST SD27	FVC2002/2004 için tanımlama doğruluğu: %100 NIST SD27 için tanımlama doğruluğu: %84.5
[223]	İyileştirme	TV modelini çok ölçekli yama tabanlı seyrek temsil yöntemi ile birleştirerek geliştirilmiş latent parmak izi iyileştirme algoritması	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[224]	İyileştirme Segmentasyon	Latent parmak izlerinin otomatik segmentasyonu ve iyileştirilmesi için iç içe yerleştirilmiş UNets kullanılarak geliştirilen CNN modeli	NIST SD27 IITD-MOLF	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[215]	İyileştirme Segmentasyon	Uyarlanabilir yönlü toplam varyasyon (ADTV) modeli olarak adlandırılan yeni bir görüntü ayrıştırma şeması	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[225]	İyileştirme	DenseUNet'e dayalı latent parmak izi iyileştirme yöntemi	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 (devam). Latent parmak izi iyileştirme yaklaşımlarının incelenmesi

Kay.	Amaç	Önerilen Yaklaşım	Veri Tabanı	Performans Değerlendirmesi
[226]	İyileştirme Segmentasyon	Latent parmak izlerinin otomatik segmentasyonu ve iyileştirilmesi için önerilmiş sözlük tabanlı yaklaşım	NIST SD27 WVUDB	NIST SD27 için tanımlama doğruluğu: %61.24 WVUDB için tanımlama doğruluğu: %70.16
[227]	İyileştirme	Sırt ve ayrıntı noktasi sözlükleri oluşturma ve iki adimli çok ölçekli yama tabanlı seyrek temsil yöntemi kullanılarak latent parmak izi geliştirme	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[209]	İyileştirme	EDTV modeli ve kaliteli görüntü iyileştirmenin kayıp ayrıntı noktasi rekonstrüksiyonu ile birleşimi olan hibrit model geliştirme	NIST SD27	Ortalama RMSE: 0.018373- 0.023199 Ortalama PSNR: 82.99068- 81.07826
[228]	Yönelim tahmini	Latent parmak izi yönelim alanı tahmini için ConvNet tabanlı bir yaklaşım	NIST SD27	RMSD: 13.51
[217]	İyileştirme	FingerNet tabanlı yeni bir latent parmak izi iyileştirme yöntemi	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[229]	İyileştirme	Latent parmak izi için yarı otomatik aşamalı geliştirme yöntemi	NIST SD27	Sonuçlar CMC grafiği kullanılarak gösterilmiştir.
[230]	İyileştirme	Sırt çizimleri detayları için polinom modeli ve parmak izinin ideal yönelim alanını tekil noktalarla tanımlayan sıfır-kutup (zero-pole) modeli kullanarak latent parmak izi iyileştirme	NIST SD27	NIST SD27 için tanımlama doğruluğu: %35
[231]	İyileştirme Eşleştirme	1. ROI, sırt çizimleri akışı ve mesafesi tahmini 2. Latent parmak izini STFT ve Gabor filtresi kullanarak iyileştirme 3. Evrişimli bir otomatik kodlayıcı tabanlı ayrıştırma noktası algılama yaklaşımı	NIST SD27 MSP WVU N2N	NIST SD27 için Rank-1 çıkarım oranı: %65.7 MSP için Rank-1 çıkarım oranı: %69.4 WVU için Rank-1 çıkarım oranı: %65.5 N2N için Rank-1 çıkarım oranı: %7.6

Başlık 2.7’de detaylı olarak ifade edilen ve birçok akademik çalışmada da vurgulanan önemli bir problem, AFIS’lerde yer alan modüllerinin çoğunun, latent baskıların zayıf içerikleri nedeniyle ancak yarı otomatik konfigürasyonla çalışabilir oluşudur [222]. Bu sebeple, birçok araştırmacı latent parmak izi tanımlama doğruluğunun ayrıntı noktasının, ilgili bölgenin (ROI) ve sırt akış çizgilerinin manuel olarak işaretlenmesi ile iyileştirme performansının artabileceği sonucuna varmıştır [230, 232]. Gerçekleştirilen bu manuel müdahale yorucu ve zaman alıcı bir süreçtir fakat spesifik suç mahalli değerlendirme senaryolarında düşük nitelikteki latent parmak izlerinin iyileştirilmesi için zorunlu olabilmektedir.

4.9. MALFIS için Latent Parmak İzi Görüntüsü Ön İşleme Prosedürünün Belirlenmesi

Akıllı telefon ile tez çalışma kapsamında MALFIS için tasarlanmış aparat birlikte kullanılarak, latent baskının bulunduğu yüzeyden temassız ve tahribatsız toplanan latent parmak izine uygulanan segmentasyon ve iyileştirme basamakları bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Literatürde farklı yüzeylerden toplanan latent parmak izlerinin segmentasyonu için önerilmiş birçok yaklaşım bulunmaktadır ve bu yaklaşımlara Başlık 4.8.1’de detaylı yer verilmiştir. MALFIS’in çalışabildiği yüzeyler göz önünde bulundurulduğunda, segmentasyon süreci karmaşık işlem adımlarına gerek duyulmadan tamamlanmıştır. Fakat konu iyileştirme süreci olduğunda, tek başına optik yöntemler kullanılarak geliştirilen parmak izlerinin iyileştirilmesi üzerine literatürde az sayıda örnek çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmaların bazılarında optik geliştirme yöntemi kullanılarak tasarlanmış latent veri toplama düzenekleri geliştirilmiş ve bu düzenekler günümüzde kolluk kuvvetlerinin de kullandığı ticari ürüne dönüştürülmüştür. Bahsi geçen bu ürünlerle latent parmak izlerinin nasıl toplandığı ile alakalı bilgi verilmiş fakat toplanan latent baskıların AFIS’lerde doğrudan mı yoksa bir iyileştirme sürecinden sonra mı kullanıldığı hakkında kritik detaylara yer verilmemiştir [196, 205]. Diğer çalışmalarda ise, latent parmak izlerinin sadece optik yöntemler ile toplanılabilirliğini ve toplanan bu baskıların kimlik tespiti için kullanılabilecek yeterlilikte olduğu ifade edilmiş fakat toplanan bu parmak izlerinin iyileştirilmesi ile alakalı bir yaklaşım sunulmamıştır [233, 234]. Sonuç olarak, bir ön geliştirme müdahalesi uygulanmadan optik yöntemlerle toplanan bir latent parmak izinin geliştirilmesi üzerine yeterli örnek çalışma bulunmaması veya bu alanda önerilmiş iyileştirme yaklaşımlarının olmaması sebebiyle, MALFIS ile toplanan latent parmak izlerini geliştirmek ve iyileştirmek için kullanılan yaklaşımlar deneysel yöntemlerle belirlenmiştir.

4.9.1. Latent parmak izinin segmentasyonu

Latent parmak izleri, adli bilimler ve kolluk kuvvetleri için son derece önemli olan rutin bir prosedürle suç mahallerinden toplanmaktadır. Latent parmak izleri çoğunlukla kısmi baskı içerdiğinden, tam (yuvarlanmış veya düz) parmak izlerine kıyasla önemli ölçüde daha az sayıda ayrıntı noktasına sahiptir. Az sayıdaki ayrıntı noktası ve latent parmak izlerinin gürültü karakteristiği, kolluk kuvvetleri veri tabanlarında depolanan tam baskılarla otomatik olarak eşleştirmeyi son derece zorlaştırır [232]. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için, suç mahallinden toplanan latent iz olabilecek en iyi kalitede ve performansta toplanmalı, baskıyı oluşturan karakteristiklerin tamamı geliştirme yöntemleri ile tespit edilmeli ve kurtarılan ayrıntı noktası sayısı olabildiğince fazla olmalıdır. Fakat bazı durumlarda, izin doğası ve bulunduğu yüzeyin karakteristik özellikleri gereği kurtarılan baskının kimlik belirleme için yeterli olmadığı durumlarda söz konusu olabilmektedir.

Latent parmak izi segmentasyonu, daha doğru ve verimli özellik çıkarma ve eşleştirme için parmak izi ön planını arka plandan ayırmayı sağlayan önemli bir görüntü işleme adımıdır. Başlık 3.6.1’de MAFIS için yapılan literatür araştırmasında bahsedilen geleneksel segmentasyon yöntemleri, genellikle gürültüye duyarlı olan parmak izi baskılarında ve latent izlerde başarılı sonuçlar üretememektedir. Latent parmak izlerini analiz eden latent analistler, baskıdan özellik çıkarımında kullanılacak ilgili bölgeleri (ROI) işaretlemektedir. Bireyin kendisinden toplanan parmak izlerinde, parmak izi edinimi için tasarlanmış bir düzenek bulunmakta ve veri toplama süreci bu düzenek kullanılarak elde edilmektedir. Bu sebeple, segmentasyon sürecinde karmaşık arka planlardan ROI’nin ayrılması gibi bir durum ile karşılaşmamaktadır. Fakat mevzu bahis latent parmak izleri olduğunda, bu baskıların herhangi bir nesnenin veya bir zeminin yüzeyinde oldukları göz önünde bulundurularak, karmaşık segmentasyon algoritmalarının kullanılması kaçınılmaz olmaktadır.

Latent parmak izi segmentasyonu konusunda önerilen yaklaşımlar üç kategoriye incelenmektedir. Bunlar:

- Görüntü yamalarının sınıflandırılmasına dayalı yöntemler
- Kümelemeye dayalı yöntemler
- Sırt frekansı ve yönelim özelliklerine dayanan yöntemler

Düşük kaliteli görüntüler ve gürültülü arka plana sahip olan parmak izleri için, yama tabanlı segmentasyon yönteminin tercih edilebilirliği diğer yöntemlere göre daha fazladır. Yama tabanlı segmentasyon hesaplama açısından maliyetli ve yavaştır, ancak giriş görüntüsünün yeterli kalitede olmadığı ve arka planın gürültüsünün yoğun olduğu durumlarda çok kullanışlı olduğu görülmektedir. Yama tabanlı segmentasyon yönteminde, segmentasyon sorunu sınıflandırma sorunu olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemde girdi görüntüsü sabit boyutlu yamalara bölünür. Daha sonra bu yamalar bir sınıflandırıcıya beslenir ve bölümlenmiş görüntüyü oluşturmak için yalnızca pozitif yamalar birleştirilir [235]. Segmentasyon için kullanılan ikinci yaklaşım kategorisinde kümelemeye dayalı yöntemler yer almaktadır. Bu yöntemde latent parmak izleri birbirleri ile örtüşmeyen bloklara ayrılır. Sonrasında bu bloklara ait yaygın özellikler (ortalama, varyans, koherens vb.) veya spesifik özellikler kullanılarak, blokların ait olduğu küme belirlenir [236, 237]. Blokların hangi kümeyle ait olduğunu belirlemek için ölçüm kriteri olarak kullanılan özelliklere ait önceden tanımlanmış bir eşik değeri belirlenir ve bu değerin altında veya üstünde olması durumuna göre latent parmak izi bölütlenir [238]. Üçüncü kategoriye giren yaklaşımlarda ise, latent parmak izindeki sırt çizgilerinin frekansı ve oryantasyonu kullanılarak arka planda yer alan yapısal gürültü ortadan kaldırılır ve görüntü segmentasyonu gerçekleştirilir [239, 240].

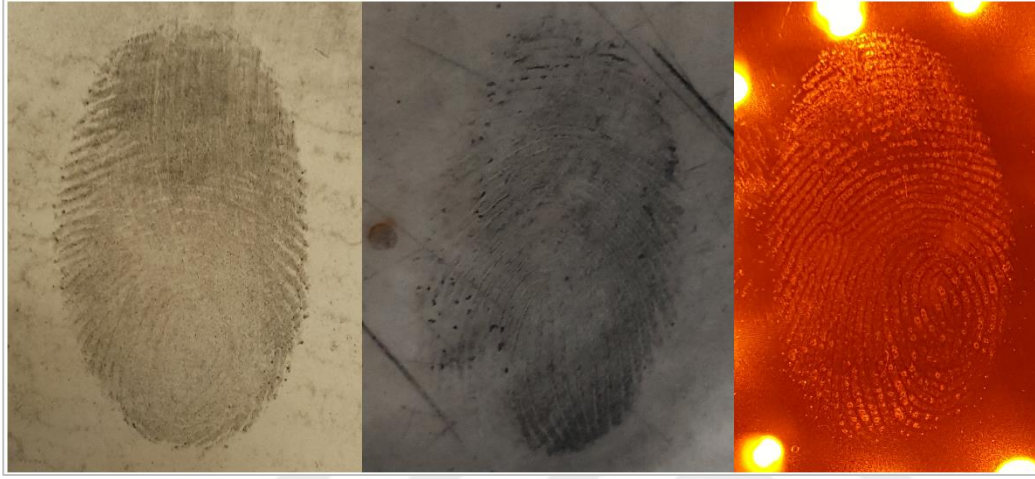
Çizelge 4.3. Latent parmak izinin segmentasyonu üzerine yapılan çalışmalar

Kay.	Önerilen Yaklaşım	Veri Seti	Performans Değerlendirmesi
[239]	Sırt çizgileri yönünün ve frekansının hesaplaması	1. NIST SD27 2. WVU	1. NIST SD27 için MDR: %14.78 ve FDR: %47.99 2. WVU için MDR: %40.88 ve FDR: %5.63
[240]	Sırt çizgileri yönünün ve frekansının hesaplaması	NIST SD27	Sonuçlar iki latent parmak izi üzerinde elde edilen çıktılarla gösterilmiştir.
[241]	İdeal sırt şablonlarıyla korelasyon ölçümü	NIST SD27	EER: %33.8
[215]	Uyarlanabilir toplam varyasyon modeli	NIST SD27	MDR: %14.10 FDR: %26.13
[242]	Uzamsal frekans bilgilerini kullanan Fourier Alt Bantları	NIST SD27	MDR: %31.90 FDR: %32.50
[226]	Öğrenilmiş sözlük tabanlı yama sınıflandırması	1. NIST SD27 2. WVU	1. NIST SD27 için Rank-1 tanımlama: %75.58 2. WVU için Rank-1 tanımlama: %77.51
[243]	Latent görüntülerin doku bileşeninden bir dizi çizgi parçası üzerindeki doğrusal yoğunluğun hesaplanması	NIST SD27	MDR: %13.32 ve FDR: %24.21
[244]	Çok boyutlu örtüşen ikili yama tabanlı sınıflandırıcı kullanarak ConvNets kümesinin eğitilmesi	NIST SD27	MDR: %10.94 ve FDR: %11.68
[245]	Bir dizi sınırlı Boltzmann makinesi kullanarak latent parmak izi görüntü yamalarını öğrenen derin bir yapay sinir ağı (DANN) modeli	1. NIST SD27 2. WVU 3. IIITD	1. NIST SD27 için MDR: %1.25 ve FDR: %0.04 2. WVU için MDR: %1.64 ve FDR: %0.60 3. IIITD için MDR: %1.35 ve FDR: %0.54
[246]	Tamamen evrişimli sinir ağları ve algılama tabanlı füzyon	1. NIST SD27 2. WVU	1. NIST için eşleşme oranı: %12.6-70.8 2. WVU için eşleşme oranı: %28.9-71.3
[238]	K-means kümeleme	NIST SD27	MDR: %4.77 ve FDR: %26.06

4.9.2. MALFIS için önerilen segmentasyon yaklaşımı

Latent parmak izleri doku, desen ve renk açısından önemli ölçüde farklılık gösteren çeşitli yüzeylerde tespit edilebilir. Bu yüzeylerden bantlama vb. bir uygulama ile parmak izi kaldırılıp laboratuvar ortamında incelenebilir veya yüzeyde tespit edilen/geliştirilen latent parmak baskısı dijital olarak görüntülendikten sonra, elde edilen bu görüntü üzerinden parmak izi kurtarılmaya çalışılabilir. İkinci durumda latent baskısının bulunduğu yüzeyden ayrıştırılması gerekir. Arka plandan latent baskının ayrıştırılması bazı suç mahalli analizi senaryolarında çok zorlu bir süreç haline gelebilmektedir. Karmaşık arka plana sahip

yüzeylerde latent parmak izini tespit için genellikle görünür ışığın kullanıldığı optik yöntemlerden daha fazlası gerekmektedir. Ayrıca, bahsi geçen yüzeylerin yapısal özellikleri sebebiyle latent baskının tespiti ve geliştirilmesi için gerekli kontrast değeri tek başına optik yöntemlerin kullanılmasıyla sağlanamamaktadır. Buna ek olarak, bahsi geçen bu yüzeylerin yansıma özelliği yoksa optik yöntemlerin çalışabilirliği oldukça azalmaktadır.



Şekil 4.12. Tozlama yöntemi ile PVC kaplama yüzey (a) ve mermer yüzeyden (b) toplanan latent parmak izi, metal yüzeyden (c) MAFIS ile toplanan parmak izi

Tez çalışması kapsamında sunulan MAFIS'in çalışma mekanizması gereği, sadece görünür ışık kullanılarak cam, metal vb. pürüzsüz ve yansıma özelliği olan yüzeyler karmaşık arka plana sahip olmadığı için, bu yüzeylerden toplanan latent parmak izlerinin segmentasyonu için de meşakkatli işlem basamaklarına ihtiyaç duyulmamaktadır. MAFIS'in tasarımsal özellikleri sayesinde, pürüzsüz ve yansıma özelliği olan yüzeylerden maksimum kontrast değerinde veri toplanabildiği için, geleneksel bir segmentasyon yaklaşımı ile latent baskı arka plandan ayrılmıştır.

Parmak izi görüntü segmentasyonu için bir algoritmanın geliştirilmesindeki ilk adım, kullanışlı piksel veya blok özelliklerinin seçimidir. Parmak izi görüntüsündeki her piksel veya blok için piksel özellikleri çıkarılır ve her piksel veya blok, çıkarılan özellik değerlerine göre sınıflandırılır. MAFIS'in latent baskı toplamak için tasarlanmış aparatı ile toplanan görüntüsüne uygulanan segmentasyon yaklaşımında üç özellik kullanılmıştır. Bunlar gradyan koherensi, ortalama yoğunluk ve ortalama varyanstır [247]. Gürültünün etkisini azaltmak için, bahsi geçen bu özelliklerin ortalaması $\sigma = 6$ olan bir Gauss penceresi (W) kullanılarak alınır. Bu sayede, hem yerelleştirilmiş hem yumuşak bir şekilde değişen

özelliklerin bir kombinasyonu sağlanmış olunur. Bu üç özellik her bir piksel için hesaplanmaktadır. Sonrasında ise bir doğrusal sınıflandırıcı, bu üç özelliği kullanarak bir pikselin arka plan ya da ön plana ait olduğuna dair karar vermektedir. Burada kullanılan doğrusal sınıflandırıcı, veri edinim aşamasında kullanılan yöntemin ve veri yakalama cihazının en uygun parametrelerini öğrenebilmek adına denetimli bir teknik kullanmaktadır. Bu üç özelliklerden biri olan koherens, gradyanların aynı yönü ne kadar iyi gösterdiği ile ilgilenen ölçüdür. Parmak izi hat çizgilerinin tutarlı yapısı sayesinde, ön plan arka plana göre daha yüksek koherens değerine sahiptir. Bir pikselin etrafındaki W penceresinde, koherens Eş. 4.1'deki gibi tanımlanır [247]:

$$Coh = \frac{|\sum_W (G_{s,x}, G_{s,y})|}{\sum_W |(G_{s,x}, G_{s,y})|} = \frac{\sqrt{(G_{xx} - G_{yy})^2 + 4G_{xy}^2}}{G_{xx} + G_{yy}} \quad (4.1)$$

Buradaki $(G_{s,x}, G_{s,y})$ kare gradyan, $G_{xx} = \sum_W G_x^2$, $G_{yy} = \sum_W G_y^2$, $G_{xy} = \sum_W G_x G_y$ ve $G_x G_y$ yerel gradyandır.

Ortalama gri değeri, parmak izi görüntülerinin bölümlere ayrılması için kullanılan ikinci piksel özelliğidir. Parmak izi algılama sürecinde, toplanan parmak görüntüsünde koyu gri-siyah tonlar hat çizgilerini, açık gri-beyaz tonlar vadi çizgilerini oluşturmaktadır. Bu sebeple özellikle temaslı edinim yöntemleri ile toplanan parmak izlerinde, parmağın sensöre dokunmadığı arka plan oldukça beyazdır. Fakat Malfis için geliştirilen aparat ile toplanan latent parmak izi görüntüsünde arka plan ön plana göre daha koyudur. Bu durumda ön plandaki ortalama gri değeri arka plana göre daha yüksek, yani daha açık gri olduğu anlamına gelir. Görüntünün yoğunluğu olarak I kullanılarak, her piksel için yerel ortalama Eş. 4.2'deki gibi hesaplanır [247]:

$$Mean = \sum_W I \quad (4.2)$$

Varyans, segmentasyon için kullanılan üçüncü piksel özelliğidir. Genelde ön plandaki sırt-vadi yapılarının varyansı arka plandaki gürültünün varyansından daha yüksektir. Varyans, her piksel için Eş.4.3'deki gibi hesaplanır:

$$Var = \sum_w (I - Mean)^2 \quad (4.3)$$

Gradyan koherensi, ortalama yoğunluk ve ortalama varyans özelliklerinin kullanılabilirliğini değerlendirmek adına, hem ön plan hem arka plan alanı için olasılık yoğunluk fonksiyonları belirlenmiştir. Yukarıda bahsedilen üç piksel özelliği kullanılarak latent parmak izi görüntüsü bulunduğu ortamın arka planından ayrıştırılmıştır. Parmak görüntüsü için önerilen veri toplama düzeneğinin kullanılması sayesinde hem veri ayrıştırma süreci başarı ile tamamlanarak veri kaybı asgariye indirilmiştir hem segmentasyon için kullanılan çok işlem basamaklı karmaşık yöntemler veya birden fazla yöntemin sıralı biçimde uygulandığı yaklaşımlar kullanılmak zorunda kalınmamıştır. Bu da daha az işlem gücü ve daha yüksek performans anlamına gelmektedir.

4.9.3. Optik yöntemlerle geliştirilen latent parmak izinin iyileştirilmesi

Geçtiğimiz otuz yıl içinde fiziksel veya kimyasal müdahalenin bir parçası olan yabancı madde uygulamasına gerek kalmadan parmak izlerini görünür kılabilen çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımların çoğu latent parmak izini görünür kılabilmek adına, görüntüleme süreci için özel ışık kaynakları (IR, Lazer, UV), filtreler ve detektörlerden oluşan özel düzenekler kullanılmaktadır [37, 70, 248]. Temassız (contactless), müdahalesiz (non-invasive) ve tahribatsız (non-destructive) olarak tanımlanan bu yaklaşımlar bazı durumlarda çok başarılı olmakla birlikte, diğer tüm parmak izi geliştirme yaklaşımlarında olduğu gibi, birçok olay yeri inceleme senaryoları için istenilen düzeyde başarılı elde edememektedir. Bu sebeple, optik geliştirme yöntemi üzerine gerçekleştirilen diğer birçok çalışma, latent parmak izinin kimyasal veya fiziksel müdahalelerle optik geliştirme yöntemlerinin birlikte kullanıldığında daha işe yarar sonuçların elde edildiği çıktısını sunmuştur [37, 70, 249-252]. Fakat bu birliktelik, optik yöntemlerin temassız, müdahalesiz ve tahribatsız olma avantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Sonuç olarak, optik geliştirme yöntemlerinin doğasını bozmadan, farklı olay yeri inceleme senaryolarında ve farklı yüzeylerde latent parmak izinin tespitini ve geliştirilmesini arttırmaya amaçlayan yaklaşımların arayışı süregelmektedir.

Bir suç mahallinin değerlendirilmesinde, latent parmak izi geliştirme yaklaşımları içerisinde tek başına optik müdahalelerin kullanılmasının gerekli ve yeterli oluşu fikrinin, yöntemin

kısıtları sebebiyle günümüz şartlarında mümkün olamaması sebebiyle, bir sonraki aşama olan optik yöntemlerle toplanan parmak izlerinin iyileştirilmesi için özelleştirilmiş uygulamaların mevcudiyeti de bu kısıttan etkilenmektedir. Başka bir deyişle, sadece optik geliştirme yöntemleri ile toplanan latent parmak izlerini geliştirmek üzere tasarlanmış spesifik iyileştirme yaklaşımları bulunmamaktadır. Bu sebeple, literatürde yer alan mevcut iyileştirme yaklaşımları belirli modifikasyonlar gerçekleştirilerek düzenlenmekte ve sonrasında düzenlenmiş versiyonları optik yöntemlerle toplanan latent parmak izlerine uygulanmakta ya da mevcut yaklaşımların hibrit modelleri veya sıralı kullanımı ile toplanan latent parmak izleri iyileştirilebilmektedir. Sonuç olarak, MAFIS ile toplanan latent parmak izlerinde hangi iyileştirme yaklaşımının kullanılması gerektiğine Başlık 3.5 ve 4.7’de yer alan çalışmalarda kullanılan yöntemler analiz edilerek karar verilmiştir.

4.9.4. MAFIS için önerilen iyileştirme yaklaşımı

Tez çalışması kapsamında MAFIS ile toplanan latent parmak izi iyileştirilirken, piksel temelli iyileştirme yöntemi olan CLAHE ile birlikte, bağlamsal filtreleme temelli SFTF analizi yöntemi kullanılmıştır.

Piksel Boyutunda Yapılan İyileştirmeler

MAFIS ile toplanan latent baskının fiziksel ve/veya kimyasal herhangi bir ön geliştirme sürecine tabi tutulması sebebiyle, parmak izi ile arka plan arasında kontrast farkı oldukça düşüktür. Bu sebeple herhangi bir filtreleme yöntemi ile iyileştirme sürecine geçilmeden önce, sırt çizgilerinin belirginliğini arttıracak, piksel boyutunda gerçekleştirilecek bir müdahale gerekmektedir. 3. bölümde MAFIS ile toplanan parmak izine uygulanmak üzere seçilen ve piksel boyutunda iyileştirme yapabilen yöntemlerin tespiti aşamasında, literatürde yer alan iyileştirme yaklaşımları detaylı olarak analiz edilmiş ve bu analiz sonuçlarına 3.bölümde detaylı olarak yer verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, düşük kontrast değerine sahip görüntülerde kontrast değeri düzenlenmesi için en uygun yöntemlerden biri olan CLAHE, MAFIS ile toplanan parmak izi görüntülerine de uygulanmıştır. CLAHE’nin çalışma mekanizması Başlık 3.6.4’de detaylı olarak anlatılmıştır. Bu yöntem uygulama parametrelerinde (kırma limiti ve dağılım fonksiyonu) düzenlemeler yapılarak MAFIS ile toplanan latent parmak izi görüntülerine uygulanmıştır ve filtreleme tabanlı iyileştirme yaklaşımı için yeterli kontrast değeri yakalanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Malfis ile toplanan latent parmak izinin CHALE kullanılarak iyileştirilmesi

Fourier Alanı Filtreleme ile Yapılan İyileştirmeler

Bir latent baskının bazı bölgelerinde sırt çizgileri yüzeye olduğu gibi aktarılmışken, bazı bölgelerde parmağın yüzeye uygulanan basınç veya yüzey ile temasının az olması vb. sebeplerden dolayı hat çizgileri kesikli kesikli veya eksik aktarılmış ya da hiç aktarılmamış olabilir. Bu sebeple latent parmak izi düz veya yuvarlanmış parmak izleri gibi istikrarlı bir örüntü yapısına sahip olmadığından, latent parmak izini iyileştirmek için tüm bu farklı oranda veri içeren bölgelere farklı muamele yapabilme özelliğine sahip iyileştirme yaklaşımlarının kullanılması gerekmektedir.

Tez kapsamında geliştirilen Malfis ile toplanan latent parmak izleri, Fourier alanında çalışan ve bağlamsal filtrelemeye dayalı, Chikkerur [14] tarafından geliştirilen algoritma kullanılarak iyileştirilmiştir. Bu algoritma, ayrılabilir radyal ve açısal bileşenlere sahip olan ve özellikle parmak izi görüntüsünü yerel yön ve frekans dağılımına göre ayarlanabilen bir filtre kullanmaktadır. Ayrıca algoritma, Kısa Süreli Fourier Dönüşüm (STFT) analizi kullanarak yerel sırt oryantasyonunu ve sırt frekansı bilgisini eşzamanlı olarak tahmin edebilmektedir [14].

STFT analizi kullanılarak tasarlanmış iyileştirme algoritmasını genel olarak özetleyebilmek için, iyileştirme sürecine hazırlık, iyileştirme süreci ve sürecin sonunda elde edilen çıktılar üzerinden bir analizin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, STFT tabanlı iyileştirme algoritmasının çalışma mekanizması aşağıdaki şekilde özetlenmiştir [14]:

- Algoritma iki basamaktan oluşmaktadır. İlk aşamada STFT analizi yapılmakta, ikinci aşama ise bağlamsal filtreleme ile görüntü iyileştirilmektedir.
- Parmak izini iyileştirmek için önce görüntünün analizi yapılmalıdır. Bu sebeple piksel haritası olarak adlandırılan ve parmak izi görüntüsünün önemli özelliklerini temsil eden içsel görüntülerin hesaplanması gerekmektedir. İçsel görüntüler parmak izinin frekans görüntüsü, oryantasyon görüntüsü ve bölgesel maskedir. Oryantasyon (yönelim) görüntüsü, parmak izi görüntüsünün her bir noktasındaki anlık sırt oryantasyonunu temsil etmektedir. Sırt yönü, çıkıntıların bulunmadığı bölgelerde tanımlanamadığı için sadece parmak izinin bulunduğu kısımlarda oryantasyon yönü tespit edilir, arka planda bu tespit yapılamaz. Frekans görüntüsü, yerel tepe frekansı olarak tanımlanmakta ve bir blok içindeki sırtlar arası ortalama mesafeyi göstermektedir. Oryantasyon görüntüsüne benzer şekilde, sırt frekansı arka plan bölgeleri için tanımlanamadığından arka plan için bu hesaplama yapılamamaktadır. Bölgesel maske ise görüntünün sırt yapılarının bulunduğu kısımlarını göstermektedir ve plan maskesi olarak da bilinir.
- STFT analizi sırasında, görüntü örtüşen pencerelere (blok) bölünür. Görüntünün bu küçük pencerede durağan olduğu ve yaklaşık olarak bir yüzey dalgası şeklinde modellenebileceği varsayılmaktadır. Bu küçük bölgenin Fourier spektrumu analiz edilir ve sırt frekansı ve oryantasyonunun olasılıksal tahminleri elde edilir. STFT analizinde, sırt oryantasyon görüntüsü, sırt frekansı görüntüsü ve daha sonra bölgesel maskeyi hesaplamak için kullanılan blok enerji görüntüsü hesaplanarak ilk aşama tamamlanır.
- STFT analizi sonucu eş zamanlı hesaplanan içsel görüntülerden biri olan oryantasyon görüntüsü daha sonra açısız tutarlılığı (koherens) hesaplamak için kullanılmaktadır [73]. Tutarlılık görüntüsü, açısız bant genişliğini uyarlamak için kullanılmaktadır. Ortaya çıkan bağlamsal bilgi, Fourier alanındaki her bir pencereyi filtrelemek için kullanılmaktadır. İyileştirilmiş görüntü, her bir analiz penceresinin sonucunun birleştirilmesi ile elde edilmektedir.

MALFIS ile toplanan latent parmak izini iyileştirmek için kullanılan algoritmanın bileşenleri alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmıştır.

Kısa Zamanlı Fourier Analizi

STFT, sinyal işlemede durağan olmayan sinyalleri analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve iki boyutlu parmak izi görüntülerinin iyileştirilmesinde bir uygulama alanına sahiptir. STFT, belirli bir sinyali belirli boyutlardaki pencerelere bölerek her segmente bir Fourier dönüşümü uygulama işlemidir.

$$X(\tau_1, \tau_2, \omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) W^*(x - \tau_1, y - \tau_2) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy \quad (4.4)$$

Parmak izi görüntülerinin zaman-frekans analizi, Eşitlik 4.4'deki gibi gerçekleştirilir [14]. Bu denklemde, analiz edilecek görüntü $I(x, y)$, pencere fonksiyonu W , uzamsal frekans parametreleri ω_1 , ve ω_2 , zaman parametresi τ_1 ve τ_2 , zaman-frekans atomları $X(\tau_1, \tau_2, \omega_1, \omega_2)$ ile temsil edilir. Görüntü Eşitlik 4.4 kullanılarak frekans alanına dönüştürülür. STFT'den elde edilen başarıda pencere $w(t)$ seçimi oldukça etkilidir. İyileştirme sırasında uygun rekonstrüksiyonu sağlamak için yükseltilmiş kosinüs spektral penceresi kullanılmıştır (Eş. 4.5).

$$W(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } (|x|, |y|) < \text{BLKSZ}/2 \\ \frac{1}{2} (1 + \cos(\frac{\pi x}{\text{OVRLP}})), & \text{otherwise} \end{cases} (x, y) \quad (4.5)$$

$\in [-\text{WNDSZ}/2, \text{WNDSZ}/2]$

Parmak izindeki tekil noktalar dışında kalan her yerel bölge tutarlı bir oryantasyon ve frekans değerine sahiptir. Bu sayede yerel bölgeler, oryantasyonu θ ve frekansı f ile karakterize edilen bir yüzey dalgası olarak modellenenbilmektedir [14] (Eş. 4.6).

$$I(x, y) = A\{2\pi f \cos(x \cos(\theta) + y \sin(\theta))\} \quad (4.6)$$

Yüzey dalgasının parametreleri (f, θ) , orijinden uzaklığı frekansı gösteren ve açısal konumu dalgaının yönünü gösteren iki impulsdan oluşan Fourier spektrumundan kolayca elde edilebilir. Parmak izi sırt çizgilerindeki kırışık vb. dokusal kusurlardan etkilenilmemesi için, sırt çizgilerinin oryantasyonu ve frekansı olasılıksal bir yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır. Eş. 4.7'da Fourier spektrumunu kutupsal formda $F(r, \theta)$ gösterimi, olasılık

yoğunluk fonksiyonu $p(r, \theta)$ ve marjinal yoğunluk fonksiyonları $p(\theta)$, $p(r)$ tanımlanmıştır. Bu fonksiyonlardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda oryantasyon ve frekans analizi gerçekleştirilmektedir [14].

$$p(r, \theta) = \frac{|F(r, \theta)|^2}{\int_r \int_\theta |F(r, \theta)|^2} \quad p(r) = \int_\theta p(r, \theta) d\theta \quad p(\theta) = \int_r p(r, \theta) dr \quad (4.7)$$

Sırt çizgilerinin oryantasyonu görüntüsü

Sırt oryantasyon görüntüsünü hesaplamak için, oryantasyonun (θ) olasılık yoğunluk fonksiyonu $p(\theta)$ olan rastgele bir değişken olduğunu varsayılmaktadır. Oryantasyonun beklenen değeri, Eş 4.8'e göre bir vektör ortalaması alınarak elde edilmektedir. $\sin(2\theta)$ ve $\cos(2\theta)$ terimleri, $\pm 180^\circ$ oryantasyon belirsizliğini çözmek için kullanılmaktadır [14].

$$E\{\theta\} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{\int_\theta p(\theta) \sin(2\theta) d\theta}{\int_\theta p(\theta) \cos(2\theta) d\theta} \right\} \quad (4.8)$$

Sırtın yönü, yakın komşuluğunun yönelimini dikkate alarak tahmin edilmektedir. Ortaya çıkan oryantasyon görüntüsü $O(x, y)$, vektörel ortalama kullanılarak daha da pürüzsüzleştirilmektedir. Pürüzsüzleştirilmiş görüntü $O'(x, y)$ Eş 4.9 kullanılarak elde edilir. Burada $W(x, y)$ bir gauss düzleştirme çekirdeğini temsil etmektedir [14].

$$O'(x, y) = \frac{1}{2} \left\{ \tan^{-1} \frac{\sin(2O(x, y)) * W(x, y)}{\cos(2O(x, y)) * W(x, y)} \right\} \quad (4.9)$$

Sırt çizgilerinin frekans görüntüsü

Ortalama sırt frekansı, sırt yönüne benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. Sırt frekansının beklenen değeri şu şekilde gösterilmektedir (Eş 4.10) [14]:

$$E(r) = \int_r p(r) r dr \quad (4.10)$$

Bu şekilde elde edilen frekans haritası, izotropik difüzyon işlemiyle düzleştirilir, düzleştirme işlemi Eş. 4.11 kullanılarak gerçekleştirilir. Burada $W(x, y)$ ise 3×3 boyutunda bir gauss düzleştirme çekirdeğini temsil etmektedir. Gösterge değişkeni $I(x, y)$, düzeltme işlemi sırasında yalnızca geçerli tepe frekanslarının dikkate alınmasını sağlar [14].

$$F'(x, y) = \frac{\sum_{u=x-1}^{x+1} \sum_{v=y-1}^{y+1} F(u, v) W(u, v) I(u, v)}{\sum_{v=y-1}^{y+1} W(u, v) I(u, v)} \quad (4.11)$$

Bölgesel maske

Parmak izi görüntüsünde sırt çizgileri dışında kalan bölgeler yüzey dalgası olarak modellenemediğinden, arka plan ile parmak izi baskısı kolayca bölümlere ayrılabilir [253]. Bu özellik ile parmak izinin blok bazında enerji içeriği hesaplanarak parmak izinin enerji görüntüsü $E(x, y)$ tanımlanabilmektedir (Eş. 4.12) [14].

$$E(x, y) = \log \left\{ \int_r \int_\theta |F(r, \theta)|^2 \right\} \quad (4.12)$$

Arka planda ve gürültülü bölgelerde çok az yapı olması sebebiyle Fourier spektrumunda çok az enerji içeriği hesaplanmaktadır. Bu enerji içeriği farkı kullanılarak parmak izinin bulunduğu bölge arka planda ayrılabilir. MAFIS için kullanılan STFT analizi tabanlı iyileştirme algoritmasında bölgesel maske Otsu optimum eşikleme yöntemi kullanılarak elde edilmektedir [254].

Koherens (Tutarlılık)

Blok bazında gerçekleştirilen görüntü işleme yaklaşımları, blok sınırlarındaki sırt çizgilerinin akışının süreksizliğinden dolayı hatalı çıkarımlar yapabilmektedir. Bu durum, özellikle birden fazla baskın yöne sahip hem çekirdeğe yakın yüksek kavisli bölgelerde hem deltalarda gözlemlenmektedir. MAFIS için kullanılan STFT analizi tabanlı iyileştirme algoritması, bu problemi önleyebilmek için akış yönelimi/açısal tutarlılık ölçüsü kullanmıştır [255]. Tutarlılık, dairesel verilerin dağılım ölçüsü ile ilgilenmektedir:

$$C(x_0, y_0) = \frac{\sum_{(i,j) \in W} |\cos(\theta(x_0, y_0) - \theta(x_i, y_i))|}{W \times W} \quad (4.13)$$

Merkezi bloğun (x_0, y_0) yönü komşularının her birine (x_i, y_i) benzer olduğunda tutarlılık yüksektir. Bir parmak izi görüntüsünde, tekillik noktalarına yakın tutarlılığın düşük olması beklenmektedir. Eşitlik 4.13'deki tutarlılık ölçüsü yönlü filtrenin açısız bant genişliğini uyarlamak için kullanılmaktadır.



Şekil 4.14. MAFIS ile toplanan latent parmak izinin STFT ile filtrelenmesi

Şekil 4.14'de görüldüğü üzere, MAFIS ile toplanan latent parmak izi önce CLAHE yöntemi ile piksel boyutunda, sonrasında ise STFT analizi tabanlı bağlamsal filtreleme yöntemi kullanılarak iyileştirilmiştir. Kullanılan bağlamsal filtreleme yöntemi anlık frekans, yönelim ve hatta yönelim tutarlılığı /güvenilirliği dâhil olmak üzere tüm bağlamsal bilgileri kullanmaktadır [124]. Elde edilen iyileştirilme sonuçlarının yeterliliği, eşleştirme aşamasında detaylı olarak analiz edilmiştir.

4.10. Latent Parmak İzinin Eşleştirme Yöntemleri

Söz konusu latent parmak izinin eşleştirilmesi olduğunda, bu süreci anlatabilmek için 2. bölümde bahsedilen başlıklar ve bu başlıkların latent parmak izi ile ilişkisinin analiz edilmesi gerekmektedir. Latent parmak izinin eşleşme olasılığının olduğu bir parmak izi kümesi ile karşılaştırılması durumunda:

- Manuel müdahaleler ve ACE-V yaklaşımı
- Yarı otomatik ve tam otomatik tanımlama/doğrulama sistemleri
- Parmak izi karakteristikleri
- Parmak izlerinin sınıflandırılması
- Parmak izlerinin karşılaştırılması

üzerinden genel bir izahın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu bölümde, latent parmak izinin eşleştirme sürecine hazırlanması, eşleştirilmesi ve eşleşen örnek/örneklerin yorumlanmasından bahsedilmiştir.

Kolluk kuvvetleri suça karışma, ehliyet/pasaport kontrolü, vatandaşlık hizmetleri sunma vb. sebeplerle bireylerden toplanan biyometrik verilerin saklandığı büyük veri tabanlarına sahiptir ve parmak izi de bu verilerden biridir. Bu sebeple suç mahalli incelemede toplanan latent parmak izleri, izin kime ait olduğunu anlayabilmek adına bahsi geçen bu büyük veri tabanlarında aratılmaktadır. Fakat her latent baskının veri tabanlarında aranmasının tanımlama/doğrulama ile sonuçlanmadığı, tanımlama/doğrulama oranının sadece %2-3'ü aralığında olduğu bilinmektedir [19]. Bu düşük eşleştirme oranının en büyük sebebi toplanan latent baskının yeterli karakteristik veriye sahip olmaması ya da çok fazla bozuk/hatalı/sahte karakteristik veri içermesidir.

Suç mahallinden toplanan latent parmak izinin veri tabanlarında eşleşme oranını yükseltmek için manuel müdahaleler gerekmektedir. Bu manuel müdahaleler toplanan latent baskının yapısal özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Biyometri literatüründe, latent parmak izi eşleştirme başarısını arttırmak için parmak izine ait ilgili bölgenin (ROI), ayrıntı noktalarının ve sırt çizgilerinin akışının manuel olarak işaretlendiği ve bu sayede eşleştirme başarısının arttırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır [210, 211, 215, 217, 226, 239, 246, 256]. Bu manuel müdahalelerin temel amacı:

- Parmak izinin bulunduğu bölgeyi ayırmak suretiyle, hatalı bilgi çıkarımına sebep olacak her türlü durumu ortadan kaldırmak
- Alan uzmanı tarafından tespit edilen fakat geliştirme ve iyileştirme yöntemleri ile ortaya çıkartılamayan karakteristik noktaları işaretleyerek olası eşleştirme başarısına katkı sağlamak
- Düşük kalitedeki latent izlerinin sırt çizgilerini belirgin hale getirerek karakteristik özellik çıkarımını kolaylaştırmak

olarak özetlenebilir. Bazı suç mahalli değerlendirme senaryolarında toplanan latent baskılar göz önüne alındığında, tanımlama doğruluğunun artması için bu müdahaleler zaruri olarak görülmektedir. Ancak, bahsi geçen bu işaretleme aşaması düşük kaliteli latent parmak izleri için çok zaman alıcı ve uygulanabilirliği düşük bir işlem adımı olarak görülmüştür. Bu sebeple, manuel müdahalelere gerek duyulmayan tamamen otomatik (lights-out) ya da manuel müdahaleleri en azından asgariye indirecek yarı otomatik (semi-lights-out) bir tanımlama/doğrulama sistemi geliştirmek üzere birçok çalışma gerçekleştirilmiştir ve bu sistemlerin bileşenlerinden olan ilgili bölge tespiti, sırt çizgilerinin akış ve frekansının tahminlenmesi, ayrıntı noktası çıkarımı ve karşılaştırılması modüllerine odaklanılan birçok çalışma yürütülmüştür [8, 38, 39, 231, 257-259].

Latent parmak izi tanımlama/doğrulama sistemleri için manuel müdahale ne kadar az olursa süreç o kadar hızlı, zahmetsiz ve maliyetsiz işlemektedir. Fakat bu iddia doğrulama/tanımlama sistemlerinin daima doğru karar vereceği hipotezine dayanmaktadır ki, elde edilen sonuçlar birçok hatalı reddetme sonucunun yine bu sistemler tarafından verildiğini göstermektedir [8]. Bu durum, hangi kritik noktalara ne kadar müdahalenin gerçekleştirilmesi gerektiği ile alakalı bir değerlendirmenin yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Parmak izi tanımlama/doğrulama sistemleri parmak izinin karakteristik özelliklerini kullanarak sınıflandırma ve karşılaştırma gibi iki önemli görevi yerine getirmektedir. Büyük bir veri tabanı içerisinde bir parmak izi ile eşleşme olasılığı olan örneklerin belirlenmesi sürecinde, her defasında $1 \times N$ bir kontrol gerçekleştirilmesi işlem yükünü ve zaman tüketimini arttıran bir yaklaşımdır. Bunun yerine, parmak izleri bünyelerinde bulundurdıkları karakteristik özellikler kullanılarak sınıflandırılmakta ve buna göre etiketlenmektedir. Bu sayede eşleşme ihtimali için sistemde taratılacak latent parmak izi hangi etikete ait ise o sınıftaki örneklerle karşılaştırılabilmektedir. Bu sınıflandırma parmak

izi tanımlama/doğrulama sistemleri için büyük önem arz etmektedir. Parmak izinin Seviye-1 olarak adlandırılan karakteristik özellikleri parmak izini sınıflandırmak için kullanılabilir. Fakat latent izlerinin kısmi olduğu durumlarda Seviye-1 özellikleri barındıran kısımlar karşılaştırılmak istenen latent baskıda bulunmayabilmektedir. Buna ek olarak, sadece bir özellik kullanılarak yapılan sınıflandırmada hatalı etiketleme sonucu sistem başarısızlığa uğrayabilmektedir. Bu sebeple, günümüz tanımlama/doğrulama sistemlerinde her türlü sınıflandırma hatasını giderebilmek için birçok karakteristiğin veya şablonların kullanıldığı kompleks sınıflandırıcılar tasarlanmıştır [5].

Genellikle parmak izi tanımlama/doğrulama sistemleri parmak izinin Seviye-1 ve Seviye-2 özelliklerini kullanarak ayrıntı tabanlı yaklaşımla karşılaştırma ve eşleştirme süreçlerini gerçekleştirmektedir [260]. Görüntü işleme yöntemleri ile iyileştirildikten sonra ayrıntı noktaları tespit edilmiş ya da alan uzmanı tarafından manuel olarak ayrıntı noktaları işaretlenmiş latent parmak izi veri tabanında karşılaştırılarak, maksimum benzerlik gösteren örnekler tespit edilir ve bir olası eşleşme listesi oluşturulur. Bu olası eşleşen örnekler ACE-V metodolojisi kullanılarak teker teker kontrol edilmekte ve birebir benzer olan örnek tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu aşamada toplanan latent parmak izi kısmi ise ve yeterli Seviye-2 karakteristik özelliğe sahip değilse, alan uzmanı tarafından Seviye-3 karakteristik özellikler de değerlendirilerek eşleşen örneklerin detaylı değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Latent parmak izinin tanımlama/doğrulama sistemlerinde taratılması sonucu elde edilen olası eşleşen örneklerin nasıl analiz edileceği konusunda en kritik noktalardan biri benzerlik oranının ne olması gerektiği konusudur. Bir latent parmak izi ile veri tabanında bulunan bir parmak izi arasındaki örtüşen özelliklerin değerlendirilmesi kritik bir adımdır. Eğer latent parmak izi yeterli ayırt edici unsura sahip değilse olası eşleşen örnek sayısı çok fazla olabilmektedir. İki parmak izinin aynı kişiye ait olduğuna karar veren benzerlik oranı ile alakalı farklı fikirler mevcuttur. Fransız kriminalist Edmond Locard, 1914'te bir kimlik belirleme sonucunu oluşturmak için gerekli olan belirli sayıda eşleşen ayrıntıyı açıklamak için bir girişimde bulunmuştur ve on ikiden fazla eşleşen ayrıntıyla pozitif tanımlamaların yapılabileceğini iddia etmiştir. Locard'ın on iki standardı bazı yargı mercilerinde kabul görürken, diğerleri bu fikri benimsememiştir. Yine de diğer yargı mercileri, bir eşleşmeyi garanti etmek için gerekli olan kesin eşleşen karakteristik sayısının, alan uzmanının muhakeme meselesi olması gerektiğine karar vermiştir [261].

Sonuç olarak, latent parmak izi eşleştirmesi; kullanılan tanımlama/doğrulama sistemlerinin tasarımsal özelliklerine, latent parmak izinin spesifikasyonlarına ve alan uzmanının performansına göre şekillenen bir süreç olarak tanımlanmakta olup, eşleştirme sürecinin performansını arttırabilecek birçok yeni fikir halen biyometri üzerine çalışan bilim adamları tarafından üretilmekte ve mevcut sistemlere entegre edilmektedir.

4.11. MALFIS için Parmak İzi Karşılaştırma Protokolünün Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında, önerilen latent parmak izi tespit, geliştirme ve toplama düzeneğinin yeterliliğini ispat edebilmek adına, toplanan parmak izleri gerekli ön işleme prosedürleri tamamlandıktan sonra eşleştirilme sürecine tabi tutulmalıdır. Bu sebeple, her bir parmak izinin veri tabanındaki diğer tüm parmak izleriyle karşılaştığı bir protokol oluşturulmuştur. Bu protokol, tez çalışması kapsamında geliştirilen MALFIS'in veri edinim aşamasını ve toplanan latent parmak izlerinin spesifikasyonlarını, karşılaştırma sürecinin tasarlanmasını, MALFIS ile önerilen sistem ve yöntemin performansını gözlemlemek adına kullanılan ölçütleri içermektedir.

MALFIS için eşleştirme prosedüründe kullanılan eşleştiriciler ile alakalı detaylı bilgiye Başlık 3.8.3'de yer verilmiştir. Bu sebeple, bu bölümde sadece kullanılan eşleştiriciler üzerinden elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Ayrıca MALFIS ve MAFIS'in değerlendirilmesi için kullanılan performans ölçütlerinin aynıdır ve bu performans ölçütleri ile alakalı detaylı bilgi Başlık 3.8.4'de verilmiştir.

4.11.1. MALFIS veri edinim aşamasının tasarım ortamı

Latent parmak izi görüntülerini tespit etmek, geliştirmek ve toplamak için tasarlanan (Şekil 4.10) veri edinim düzeneği için geliştirilen aparat bir akıllı telefon ve aydınlatma ortamını ayarlamak için kullanılan bir karanlık odadan oluşmaktadır. Bu düzenekte makro lensin latent parmak izinin bulunduğu yüzeye mesafesi 12 cm olup halka aydınlatma mekanizması de aynı mesafeye ve yüzeye 90° olacak şekilde yerleştirilmiştir. Akıllı telefonun veri toplama düzeneğine olan mesafesi otomatik odaklanma için gerekli olan en uygun mesafeye göre konumlandırılmıştır. Latent parmak izi görüntülerinin toplandığı akıllı telefon ile temaslı veri edinim yönteminde kullanılan cihazın spesifikasyonları ve bu iki farklı cihaz ile toplanan verinin özellikleri 3. bölümdeki Çizelge 3.5'de detaylı olarak gösterilmiştir.

4.11.2. MALFIS'in test edilmesi için kullanılan veri tabanları

Literatürde, fiziksel ve/veya kimyasal geliştirme uygulanmadan toplanan latent parmak izi veri seti bulunmamaktadır. Bu sebeple MALFIS için önerilen iyileştirme ve eşleştirme yaklaşımları sadece tez kapsamında tasarlanan veri edinim aparatı ile toplanan latent parmak izleri kullanılarak test edilmiştir. Sadece optik geliştirme yöntemleri kullanılarak oluşturulmuş veri setinin olmaması ve geliştirilen aparatla toplanan latent parmak izi veri setinin bu kapsamda ilk oluşu, tez çalışmasının literatüre yaptığı katkılardan birini göstermektedir.

Tez çalışması kapsamında önerilen MALFIS'in test edilmesi için kullanılan veri seti, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği'ne ait biyometri laboratuvarında yaşları 18 ile 50 arasında değişen erkekler ve kadınlar (üniversitedeki öğrenciler ve personel) dâhil olmak üzere 30 gönüllünün katılımı ile toplanmıştır. Her bireyin sol ve sağ işaret parmağı, MALFIS için geliştirilen aparatla (latent örnekler) ve bir optik sensörle (temaslı örnekler) ayrı ayrı dört kez kayıt altına alınmıştır. Latent örnekler cam ve metal olmak üzere iki farklı gözeneksiz yüzeyden toplanmıştır. Önerilen veri toplama, geliştirme ve eşleştirme yaklaşımını değerlendirmek için üç farklı veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümelerinin ayrıntılı açıklaması Çizelge 4.4'de verilmiştir. MALFIS'in test edilme süreci düz parmak izi baskısı-latent parmak izi baskısı karşılaştırılması olacak şekilde yürütülmüştür.

Çizelge 4.4. MALFIS'in test edilmesi için kullanılan veri kümelerinin özellikleri

	Temaslı Edinim Veri Seti	Latent Veri Seti (Yüzey I)	Latent Veri Seti (Yüzey II)
Kullanılan Cihazlar	Sensör	Akıllı telefon+aparat	Akıllı telefon+aparat
Toplam örnek sayısı	240 örnek	240 örnek	240 örnek
Bir parmağa ait toplam örnek sayısı	4 örnek	4 örnek	4 örnek
Yüzey	-	Cam	Metal

4.11.3. Parmak izi eşleştirme prosedürünün belirlenmesi

Önerilen latent parmak izi geliştirme ve iyileştirme yaklaşımının doğruluğu, SourceAFIS [167] ve VeriFinger-SDK [169] eşleştiricileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Başlık 3.8.4'de bahsi geçen eşleştiricilerle alakalı detaylı bilgi verilmiştir.

4.11.4. Analiz ve doğrulama

Tez çalışması kapsamında geliştirilen Malfis'in performans değerlendirilmesi için sistemin bileşenlerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Malfis hem latent parmak izi tespit, geliştirme ve toplama hem iyileştirme ve eşleştirme görevlerini gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda hem veri tespit ve geliştirme modülünün performansı hem toplanan verinin iyileştirilmesi ve eşleştirilmesinden sorumlu modüllerin performansını ayrı ayrı analiz edebilecek senaryolara ihtiyaç duyulmuştur. Bu test senaryoları aşağıda özetlenmiştir:

- *Senaryo I:* Malfis'in tespit, geliştirme ve toplama modülünün performansını değerlendirmek için, hem temaslı yöntemler (sensör) kullanılarak düz (plain) parmak izleri hem tez çalışması kapsamında geliştirilen aparat ile sadece cam yüzeylerden toplanan latent parmak izleri çapraz doğrulama yapılmak üzere birlikte kullanılmıştır (Çizelge 4.5). Bu sayede, temaslı toplanılan parmak izlerinin, Malfis kullanılarak sadece optik geliştirme yöntemleri ile geliştirilen ve toplanan latent parmak izleriyle, barındırdıkları karakteristik veri üzerinden kıyaslanması yapılmıştır. Çapraz kıyaslama yapabilmek için oluşturulmuş veri seti, Veri Seti A olarak adlandırılmıştır. Veri Seti A'da yer alan temaslı toplanmış düz parmak izleri ve Malfis ile toplanmış latent parmak izleri, 30 bireyin iki farklı parmağından toplanan $Q = 30 \times 2 = 60$ eşsiz parmak izi ($Q = sınıf$) ve her parmaktan toplam $p = 4 \times 2 = 8$ adet ($p = örnek$) olacak şekilde, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak genuine ve imposter skoru hesaplanmıştır.
- *Senaryo II:* Senaryo II ile senaryo I arasındaki tek fark, Senaryo-II'deki latent parmak izlerinin metal yüzeylerden toplanmış oluşudur. Bu senaryonun oluşturulma sebebi, yüzeyin Malfis üzerindeki etkisini gözlemlemek ve Malfis'in farklı yüzeylerdeki başarısını analiz etmektir. Bu veri seti, Veri Seti B olarak adlandırılmıştır.
- *Senaryo III:* Malfis'in latent parmak izi tespit, geliştirme ve toplama modülünün performansını değerlendirmek için, geliştirilen aparat ve temassız parmak izi toplama düzeneği yardımıyla metal ve cam yüzeylerden latent parmak izi toplanmıştır. İki farklı gözeneksiz ve pürüzsüz yüzeyden toplanan latent parmak izlerinin barındırdıkları karakteristik veri üzerinden kıyaslanması için oluşturulmuş bu veri seti, Veri Seti C olarak adlandırılmıştır. Veri Seti C, latent-latent karşılaştırma sonucunu gözlemleme fırsatı sunmaktadır. Veri Seti C'de yer alan ve 30 bireyin iki farklı parmağından toplanan $Q = 30 \times 2 = 60$ eşsiz latent parmak izi ($Q = sınıf$) ve her parmaktan toplam $p = 4 \times$

2 = 8 adet ($p = \text{örnek}$) olacak şekilde, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak genuine ve imposter skoru hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. MALFIS performans değerlendirilmesi için oluşturulmuş senaryolarda kullanılan veri setlerinin özellikleri

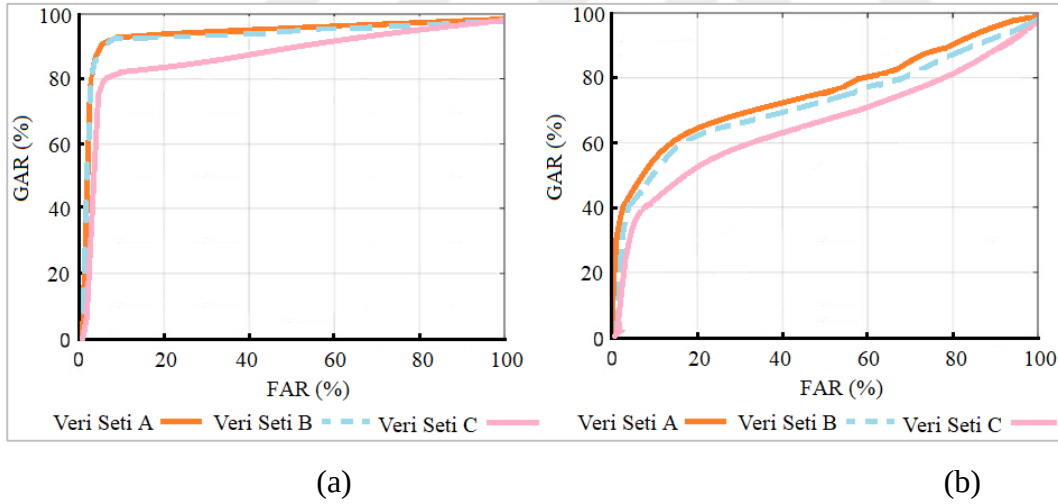
	Veri Seti A	Veri Seti B	Veri Seti C
Veri toplama yöntemi	Temaslı (sensör) + Latent (aparat)	Temaslı (sensör) + Latent (aparat)	Latent (aparat)
Latent veri yüzeyi	Cam	Metal	Cam+ Metal
Bir parmağa ait örnek sayısı	8 (4 örnek sensör+4 örnek latent)	8 (4 örnek sensör+4 örnek latent)	8 (8 örnek latent)
Farklı parmak sayısı	30	30	30
Toplam örnek sayısı	480	480	480

MALFIS, Senaryo I üzerinden değerlendirilirken, Eş. 3.21 ve Eş. 3.22 kullanılarak hesaplanan FAR ve GAR sonuçlarıyla, Veri Seti A için Şekil 4.15'deki ROC eğrileri çizilmiştir. Senaryo I-II-III'den elde edilen sonuçlar detaylı analiz edilmek istenirse:

- Senaryo I ve Senaryo II; latent bir parmak izinin eşleyeninin farklı veri edinim yöntemleri ile toplanan örnekler içinden bulunabilirliğini göstermek için oluşturulmuştur. Latent bir parmak izi ile benzerlik gösteren bir örneğin Veri Seti A içinde olup olmadığının kontrolü için gerçekleştirilen tüm işlem basamakları ile olay yeri inceleme sonucu toplanan latent bir parmak izinin AFIS gibi tanımlama/doğrulama sistemindeki karşılığını bulmak için gerçekleştirilen tüm basamaklar aynı çalışma mantığına sahiptir. Bu sebeple Senaryo I ve Senaryo II, Veri Seti A ve Veri Seti B'nin hem temaslı yöntemlerle toplanan parmak izlerini hem latent parmak izlerini içermesi sebebiyle, AFIS'in çalışma mekanizmasının MALFIS'e uyarlanmış versiyonu olarak tanımlanabilir.
- Senaryo III, MALFIS için tasarlanmış veri toplama düzeneğinin yeterliliğini analiz etmek için oluşturulmuştur. Latent izlerde yeterli karakteristik özellik olmadığı birçok akademik çalışmada vurgulanmıştır. Önerilen yaklaşımla toplanan latent parmak izinde yeteri kadar karakteristik özelliğin tespit edilip edilemediğini gözlemlemek için Veri Seti C oluşturulmuş ve sadece latent-latent iz karşılaştırılması yapılmıştır.
- Veri Seti A ve Veri Seti B'den elde edilen eşleşme başarısı birbirine çok yakındır. Bu sebeple, cam ve metal yüzeyden MALFIS ile toplanan latent parmak izlerinin aynı görüntü sahip olduğu söylenebilir. Buradan elde edilen sonuç ise, MALFIS'in

gözeneksiz, pürüzsüz ve yansıtıcı özelliği olan farklı yüzeylerde etkili ve yüksek performanslı bir şekilde çalışabilir oluşudur.

- Latent parmak izleri her oluşumunda farklı bir baskı deseni ortaya çıkmaktadır. Bunun sebepleri 4. bölümde detaylı olarak açıklanan bu farklılığın sebebi, her baskıda birbirinden farklı ayrıntı noktalarının var olması veya baskının kalitesinin değişmesinden dolayı bir ayrıntı noktası kümesinin bir başka baskıda mevcut olmamasıdır. Temaslı edinim yöntemlerinde toplanan parmak izlerinin barındırdığı ayrıntı noktalarının fazla olması sebebiyle, latent baskıların latent baskılarla karşılaştırılması (trace-to-trace), düz (plain) baskılar ile latent baskıların karşılaştırılmasına (trace-to-print) göre daha düşük bir eşleşme oranına sahiptir.
- Son olarak kullanılan iki farklı eşleştirici için eşleştirme başarısında ciddi bir fark gözlemlenmiştir. Bu farkın eşleştirici tasarımları ile alakalı olduğu, literatürde bu iki eşleştiricinin birlikte kullanıldığı çalışmalarda da benzer farkların gözlemlendiği görülmüştür.



Şekil 4.15. ROC eğrisi kullanılarak Veri Seti A, Veri Seti B ve Veri Seti C'nin eşleşme performanslarının VeriFinger-SDK (a) ve SourceAFIS (b) kullanılarak değerlendirilmesi

MALFIS'in sunmuş olduğu optik geliştirme temelli veri edinim prosedürünü ve toplanan latent parmak izine uygulanan ön işleme prosedürlerinin başarısını gözlemlemek için oluşturulan Veri Seti A ile Çizelge 4.6'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. MALFIS'in performans değerlendirilmesi için karmaşıklık matrisinin analizi

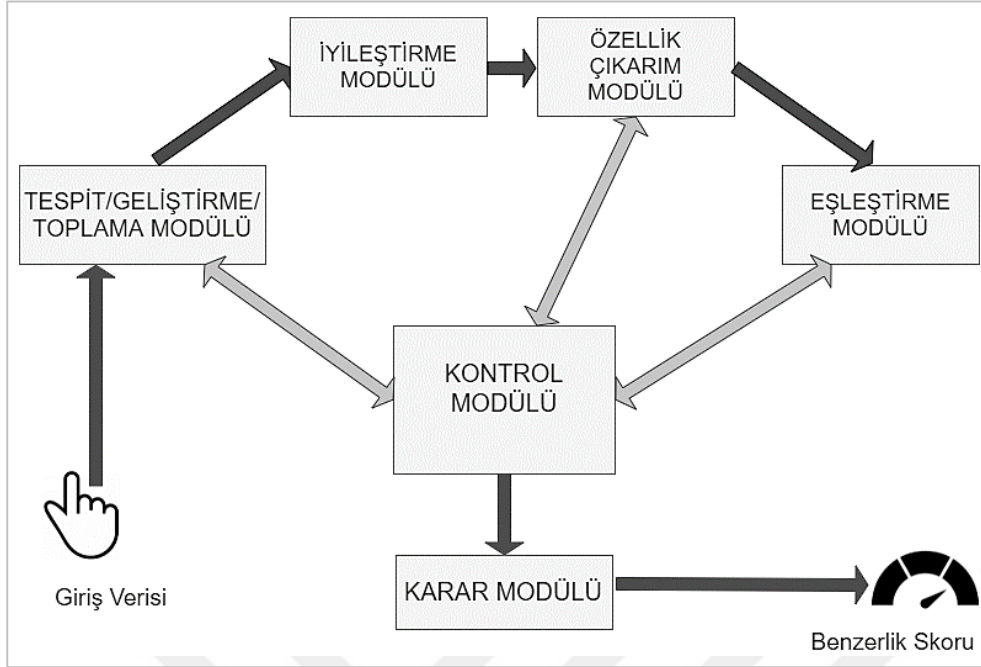
Veri Seti A		
	Kabul	Ret
Kabul	Doğru Kabul Edilen (TA): 963	Yanlış Kabul Edilen (FA): 3146
Ret	Yanlış Ret Edilen (FR): 717	Doğru Ret Edilen (TR): 110134

Çizelge 4.6' da yer alan doğru kabul sayısı, yanlış kabul sayısı, doğru ret sayısı, yanlış ret sayısı değerleri ve Eş. 3.23 kullanılarak MALFIS'in sistem doğruluk oranı %96 olarak hesaplanmıştır. Bu doğruluk oranlarının, literatürde yer alan çalışmalarla kıyaslandığında, kabul görülen performans aralığında olduğu görülmüştür.

4.12. MALFIS'in Çalışma Mekanizması

Önceki bölümlerde MALFIS'i oluşturan modüllerde geliştirilen teknik ve yöntemler, kullanılan algoritmalar ve uygulanan prosedürler üzerinde durulmuştur. Bu bölümde MALFIS'in çalışma mekanizması ve MALFIS'i oluşturan modüllerin işlem gerçekleştirim sırası üzerinde durularak tüm sistemin işleyişi gösterilmektedir.

MALFIS altı modülden meydana gelmektedir (Şekil 4.16). Bu modüller; tespit/geliştirme/toplama modülü, iyileştirme modülü, özellik çıkarım modülü, eşleştirme modülü ve karar modülüdür. MALFIS'in temel amacı, tek başına optik yöntemler kullanılarak latent parmak izini tespit etmek, geliştirmek, toplamak ve toplanan bu veriyi bir tanımlama/doğrulama sistemi için kullanılır hale getirilebildiğini göstermektir. Bu amaç kapsamında tasarlanan MALFIS'i oluşturan modüllerin çalışma mekanizması ve geliştirilen uygulamanın çalışma basamakları anlatılarak, kullanıcı ara yüzü tarafındaki sistemin işleyişi özetlenmiştir.



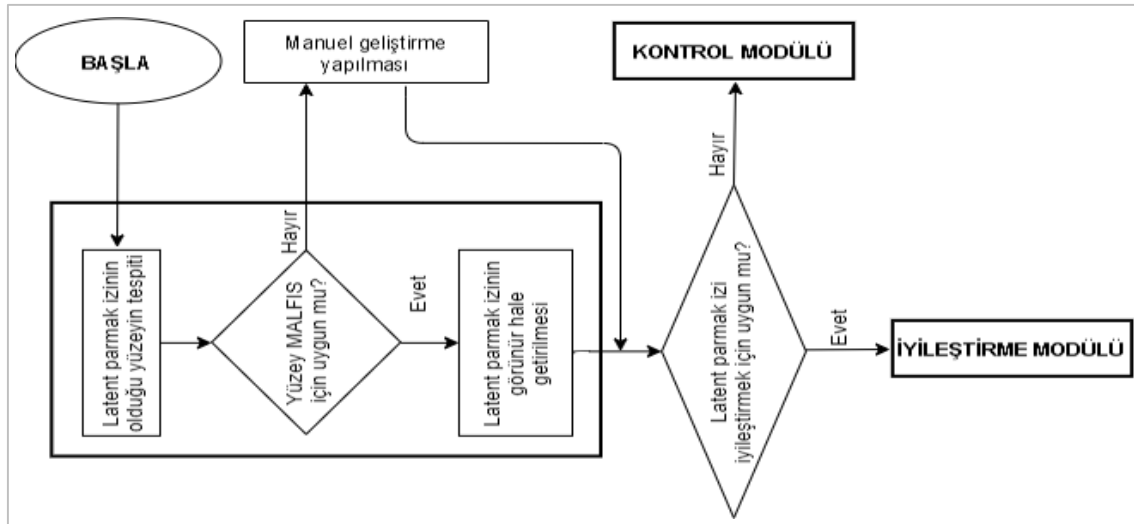
Şekil 4.16. MAFİS'i oluşturan modüllerin iletişimi

Tespit/geliştirme/toplama modülü; latent baskıyı gözeneksiz ve yansıma özelliği olan bir yüzeydeki yerini tespit etmek, tespit edilen latent baskıyı geliştirmek ve kayıt altına almak, sonrasında yakalanan görüntüyü sunucuya iletmek için kullanılan bir akıllı telefon ve telefona aparat olarak entegre edilmiş bir veri toplama düzeneğinden oluşmaktadır. Bu modülün işleyişi maddeler halinde özetlenmek istenirse:

- Görüntü tespit/toplama/geliştirme modülü parmak izinin bulunduğu yüzeye göre hangi geliştirme yönteminin kullanılacağına karar vermektedir. Bunun için öncelikle yüzey kontrolü gerçekleştirilir. Latent baskının olma ihtimali olan yüzeyde MAFİS'in kullanılabilirliği ölçülür. Eğer yüzey uygun değilse manuel tespit ve geliştirme yöntemleri kullanılabilir. Eğer manuel geliştirme yöntemleri kullanılacaksa, geliştirilen bu latent baskılar yine MAFİS kullanılarak tüm detayları ile kayıt altına alınabilir ve tanımlama/doğrulama için kullanılabilir, çünkü MAFİS geleneksel veri tespit ve geliştirme yöntemleri ile toplanan latent baskıyı işleyebilecek kapasiteye sahiptir.
- Yüzey uygunluğu kontrol edildikten sonra verinin tespit edilmesi aşamasına geçilir. Veri toplama düzeneğinde bir aydınlatma mekanizması ve mercek bulunmaktadır. Akıllı telefona entegre olan bu düzenek bir karanlık oda görevi görmektedir. Bu sayede latent baskı ortam koşullarından etkilenmeyecek şekilde özel tasarlanmış bir aydınlatma mekanizması ile görünür hale getirilmektedir. Kullanılan veri toplama düzeneği ile latent

baskı sadece optik geliştirme yöntemleri kullanılarak maksimum kontrast ve görüntü kalitesi ile toplanmaktadır.

- Görüntü tespit/toplama/geliştirme modülü ile kayıt altına alınan latent baskı değerlendirilir. Baskının uygun biçimde geliştirildiği düşünülürse görüntü iyileştirme modülüne aktarılır. Baskı çok bariz eksikliklere, bozulmalara, yüksek gürültü miktarına sahipse iyileştirilmesi için uygun olmadığına karar verilerek toplanan parmak izi verisini kontrol modülüne aktarılır.



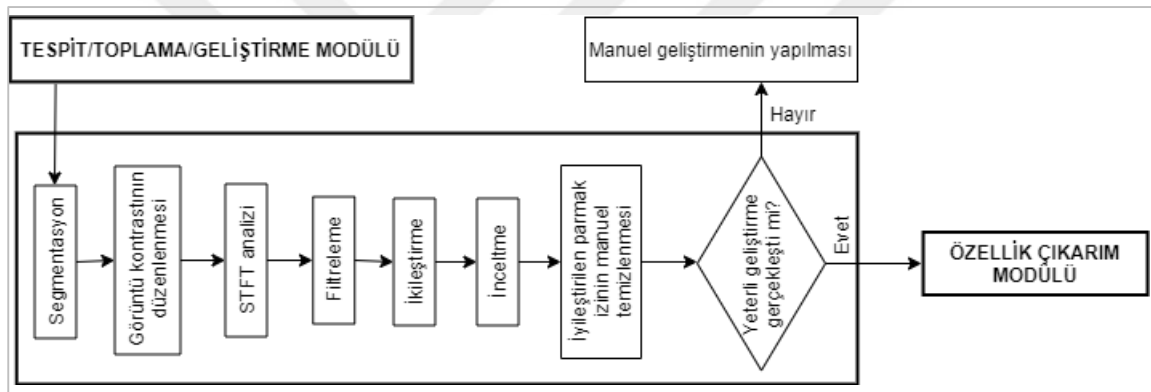
Şekil 4.17. Tespit/toplama/geliştirme modülü akış diyagramı

İyileştirme modülü, tespit/toplama/geliştirme modülü ile toplanan latent baskıyı bir biyometrik sistemin kullanabileceği formata dönüştürmekten sorumludur. Bu modülde, toplanan latent baskıdan karakteristik özellik çıkarılabilmesi için bir dizi görüntü işleme basamağı gerçekleştirilir. Bu basamaklar aşağıda özetlenmiştir:

- İlk önce görüntünün arka plandan ayrılması gerekir. MAFİS'in çalıştığı yüzeyler karmaşık arka planla sahip olmadığı için bu basamak basit bir yöntem ile tamamlanır.
- Sonrasında latent baskıdaki sırt-vadi deseninin belirginleştirilebilmesi için görüntünün kontrast değerleri düzenlenir. Bu düzenleme piksel temelli iyileştirme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir.
- Her ne kadar kontrast düzenlemesi yapılsa da, latent baskıyı oluşturan sırt-vadi şablonunda kopukluklar, boşluklar, aydınlatma sisteminden dolayı yeterli ton farklılığının yakalanamamasından kaynaklanan eksiklikler vb. giderebilmek için, Fourier alanında

bağlamsal filtreleme temelli iyileştirmeler yapılarak bahsi geçen bu kusurlar giderilmeye çalışılır.

- Sonrasında sırt çizgileri inceltme ve ikileştirme işlemleri gerçekleştirilerek görüntü son işleme basamakları da tamamlandıktan sonra latent baskı artık parmak izine dönüşmüş ve özellik çıkarımı için hazır hale gelmiş olur.
- İyileştirme sonucunda latent parmak izi hala özellik çıkarımı için yeterli kalitede değilse, bu durumda parmak izinin farklı bir yaklaşımla geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple iyileştirilmiş görüntü kontrol edilir ve yeterli iyileştirilme gözlemlenmediyse parmak izinin alternatif yöntemlerle geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılır.
- İyileştirme süreci tamamlandıktan sonra, eğer varsa basit gürültüler manuel olarak silinir ve iyileştirilen parmak izi özellik çıkarım modülüne iletilir.

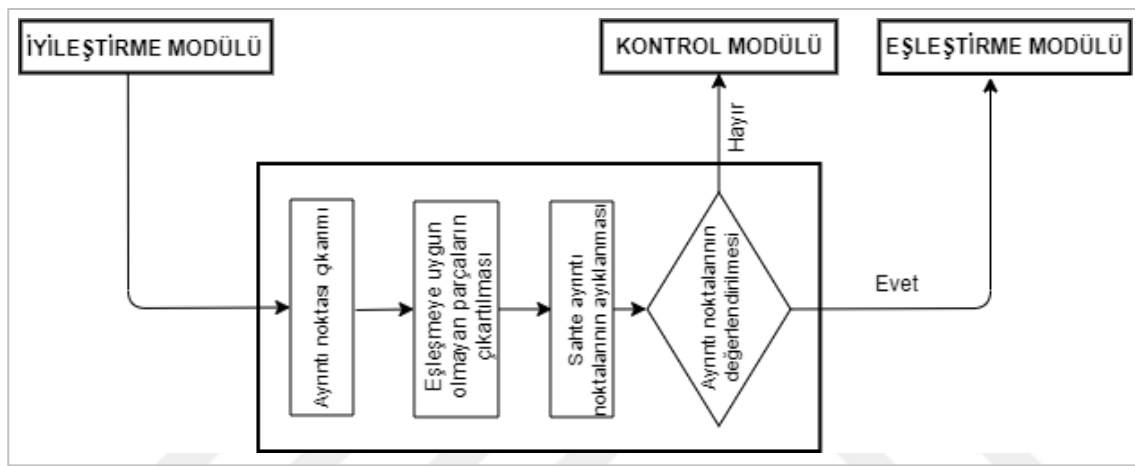


Şekil 4.18. İyileştirme modülü akış diyagramı

Latent parmak izinin tanımlama/doğrulama işleminde kullanılabilmesi için, izi bireyselleştiren unsurların tespit edilmesi gerekmektedir. Özellik çıkarım modülü, iyileştirilmiş parmak izinde bireyi tanımlamak için kullanılacak ayrıntı noktalarını tespit etmek için geliştirilmiştir. Bu modülde:

- İyileştirme modülünden iletilen parmak izine ait ayrıntı noktaları Başlık 3.8.3’de yer alan parmak izi eşleştiricileri kullanılarak çıkartılmıştır.
- Sonrasında parmak izinin bölgesel değerlendirilmesi çıkartılan ayrıntı noktası üzerinden gerçekleştirilir. İzin kusurlu olduğu kısımlarda doğru karakteristik özelliklerin çıkarımı gerçekleştirilememektedir. Bu sebeple bu kısımlar latent parmak izinden ayrılarak eşleştirme başarısına yapacağı negatif etkinin önüne geçilmiş olunur.

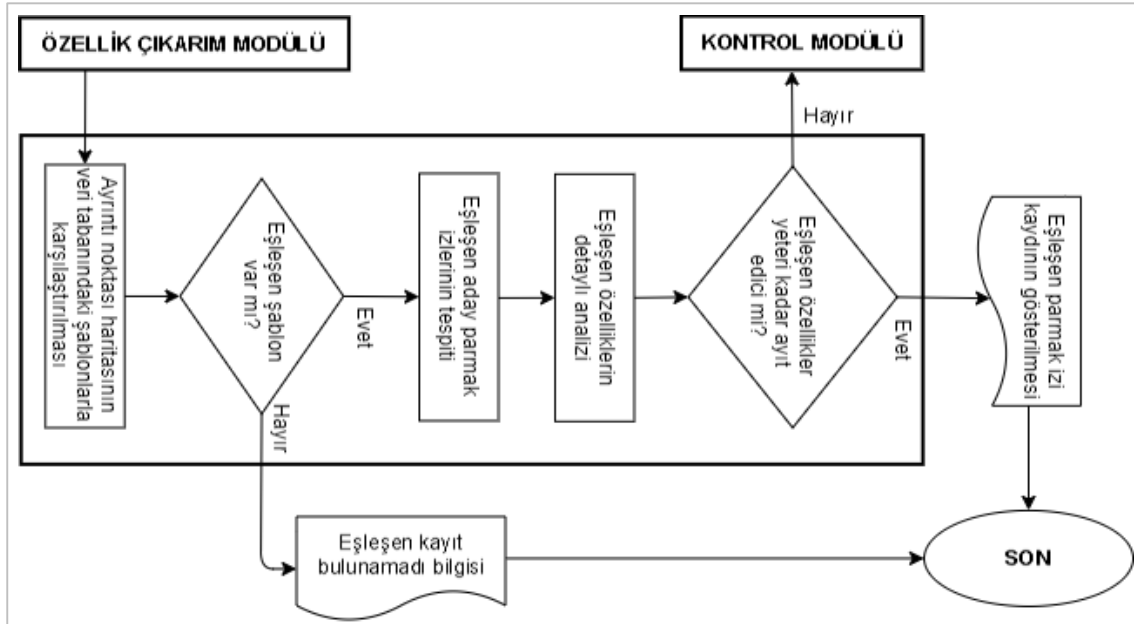
- Kusurlu kısımlar elendikten sonra, özellik çıkarımına uygun parçalardan elde edilen ayrıntı noktaları tekrar incelenir. Bu parçalardan çıkarılan ya da çıkarılamayan ayrıntı noktalarında, tespit/geliştirme/eşleştirme ve/veya iyileştirme modüllerinden kaynaklı bir hatanın olup olmadığı manuel olarak analiz edilir.
- Bu analiz sonucunda tespit/geliştirme/eşleştirme ve/veya iyileştirme modüllerinden kaynaklı bir hata tespit edildiyse, bu manuel değerlendirmenin tekrar kontrol edilmesi için sonuçlar kontrol modülüne iletilir. Eğer çıkartılan ayrıntı noktalarının manuel değerlendirilme sonucu olumlu ise, ayrıntı noktaları eşleştirme modülüne yönlendirilir.



Şekil 4.19. Özellik çıkarım modülü akış diyagramı

Parmak izine ait ayırt edici karakteristikler çeşidi, sayısı ve bu karakteristiklerin birbirlerine göre konumları bir şablon oluşturur. Bu şablon aslında parmak izinin özetini oluşturan bir ayrıntı noktası haritasıdır. İki parmak izi karşılaştırılırken bu haritaların eşleşme oranları gözlemlenir. Latent parmak izi her daim bireyin katılımı ile gerçekleşen veri edinim prosedürleri ile toplanan parmak izlerine göre daha az sayıda karakteristik özellik içermektedir. Bu sebeple ayrıntı noktası haritası eşleştirilirken sistemin toleransı iyi ayarlanmalıdır. Eğer düşük eşik değeri ile bir eşleştirme süreci tasarlanırsa, olası eşleşen örnek sayısı çok fazla olmakta ve detaylı analiz için çok fazla parmak izi değerlendirilmek zorunda kalınmaktadır. Eğer eşik değeri gereğinden yüksek seçilirse, latent parmak izlerinde yetersiz bilginin olmasından kaynaklı, eşleşme gösteren örnek bulunamayabilmektedir. Bu ihtimaller göz önüne alınarak geliştirilen eşleştirme modülünün işleyişi maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir:

- Özellik çıkarım modülü ile işaretlenen ayrıntı noktaları bu modülde veri tabanındaki kayıtlı diğer örneklerle ait ayrıntı noktası şablonları ile karşılaştırılır.
- Veri tabanındaki her örnek ile karşılaştırma sonucu, karşılaştırılan çiftler arasında bir eşleşme skoru hesaplanır. Bu skor benzerlik gösteren ayrıntı noktası kümesi ve ayrıntı haritasında yakalanan benzerlik ile ilişkilidir. Benzerlik ilişkisinin artması iki örneğin aynı bireye ait olma ihtimalinin artması anlamına gelmektedir.
- MAFİS için belirlenmiş benzerlik eşikini aşan skora sahip çiftler listelenir, eğer bir olası eşleşme tespit edilemediyse bu bilgi kullanıcıya akıllı telefon üzerinden iletilerek süreç sonlanır.
- Bazı durumlarda parmak izi çiftleri yüksek benzerlik gösterse de, benzerlik göstermeyen kısımlar iki izi ayırtmak için yeterli vasıftadır. Bu ve buna benzer senaryoların olması ihtimaline karşın, benzerlik gösteren çiftler tekrar değerlendirilir.
- Her ne kadar iki parmak izi eşleşse de, bazı durumdalar eşleşen parçalar yeterli ayırt edici özellikte olamayabilir. Eşleşen özelliklerin ayırt ediciliğinde şüpheye düşülürse, ikinci bir kez değerlendirilme için, benzerlik gösteren parmak izleri kontrol modülüne iletilir. Eğer eşleşen özellikler yeterli ayırt ediciliğe sahip ise, olası eşleşen listesi kullanıcıya akıllı telefon üzerinden iletilerek süreç sonlanır.

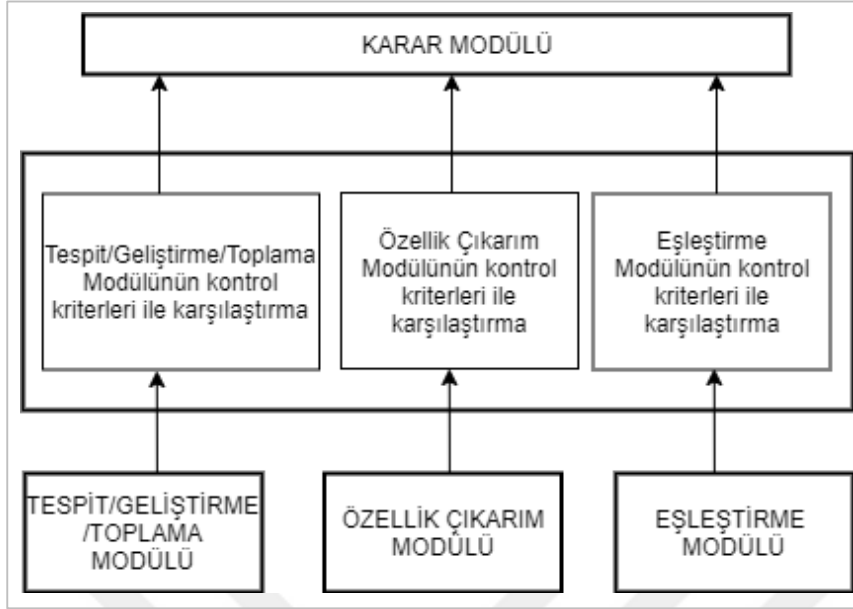


Şekil 4.20. Eşleştirme modülü akış diyagramı

Her ne kadar latent parmak izinin tespiti, geliştirilmesinde, toplanmasında, izden karakteristiklerin çıkartılmasında ve bu karakteristikler kullanılarak karşılaştırma süreçlerinin gerçekleşmesinde uygulanan tüm basamaklar otomatikleştirilse de, halen:

- Basamaklarda kullanılan yöntemlerin parametrelerinin yeniden düzenlenmesi ve düzenleme sonrası aynı basamağın tekrar edilmesi
- Yukarıda bahsi geçen süreçlerin başarılı bir şekilde tamamlanıp tamamlanmadığının kontrol edilmesi
- Latent parmak izine ait bir spesifik durumun olup olmadığının kontrol edilmesi ve buna göre gerçekleştirilen süreçlerin çıktılarının yeniden değerlendirilmesi
- Bahsi geçen süreçlerden hangisinin manuel gerçekleştirilmesi gerektiğine karar verilmesi ve
- Olası eşleşen örneklerin detaylı analiz edilmesi

gibi kritik değerlendirmelerin yapılması için alan uzmanının detaylı bir gözlem gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu sebeple Malfis, bahsi geçen bu kritik değerleri olabildiğince otomatik gerçekleştirebilmek adına düzenlenmiş bir sistem olmakla beraber, bahsi geçen süreçlerde olası bir hatalı sonucun oluşmaması için ikili bir değerlendirme mekanizması sunmaktadır. Malfis'in latent baskı geliştirilmesinden özellik çıkarımına kadar elde edilen her modül çıktısı eğer kullanıcı tarafından yapılan manuel değerlendirme sonucu yeterli görülüyorsa, ikinci bir değerlendirilmenin yapılması için bu sonuçlar kontrol modülüne iletilir. Kontrol modülü bünyesinde barındırdığı değerlendirme kriterlerini kullanarak ikinci bir değerlendirme gerçekleştirilir. İkinci bir değerlendirmenin sonucunda elde edilen sonuç ile kullanıcının gözlemlediği sonuç aynı ise, kesin kararın verilmesi için karar modülüne başvurulur.

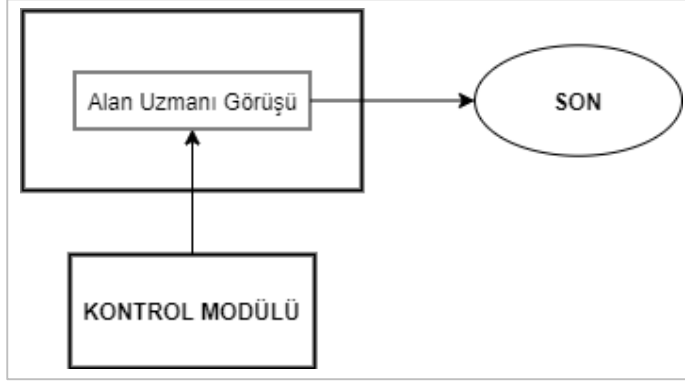


Şekil 4.21. Kontrol modülü akış diyagramı

MALFIS'in ikili değerlendirme mekanizmasının ilk modülü olan kontrol modülünün üstlendiği görevler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Tespit/geliştirme/toplama modülünden çıkan latent parmak izinin görüntü iyileştirme modülüne sokulmak için uygun olup olmadığının değerlendirilmesi, kontrol modülü tarafından gerçekleştirilmektedir. Toplanan latent parmak izinin iyileştirme için uygun olup olmadığı, kontrol modülünde bulunan çözünürlük, piksel yoğunluğu, gürültü, bozulma ve kısmi parmak izi büyüklükleri kriterleri kullanılarak ölçülmektedir. Bu kriterler sonucunda modülden gelen çıktı yeterli ise iyileştirme modülüne, yetersiz ise karar modülüne iletilir.
- Bir latent parmak izinden çıkartılan ayrıntı noktası sayısı iyileştirme sürecinin başarısı hakkında bilgi vermektedir. Eğer çok fazla ayrıntı noktası tespit edilmişse, bu parmak izinin yeteri kadar iyileştirilemediği, fazla sayıdaki ayrıntı noktasının hem gürültü hem hatalı sırt çizgilerinin yön tahmininden dolayı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple özellik çıkarımı modülünden gelen çıktı kontrol modülü tarafından değerlendirilir, modülden gelen çıktı yeterli ise eşleştirme modülüne yetersiz ise karar modülüne iletilir.
- Kontrol modülünün son görevi ise eşleştirme modülü tarafından belirlenmiş parmak izi örneklerini değerlendirmektir. Bu aşamada uygun eşik değerinin belirlenmediği sonucuna varılırsa, eşleştirme modülünün parametreleri değiştirilerek süreç devam

ettirilir. Eşik değeri olması gerektiği gibiyse nihai kararın verilmesi için sonuç karar modülüne iletilir.



Şekil 4.22. Karar modülü akış diyagramı

Kontrol modülü, alan uzmanının inceleme yapması gereken sonuçlarda uzmana yardımcı bir mekanizma olarak çalışmakta, uzmanın karar vermesine yardımcı olmak adına yukarıda belirtilen kriterler kapsamında bir ön analiz hizmeti sunmakta ve uzmanın karar vermesinde destekleyici rol oynamaktadır. Tespit/geliştirme/toplama modülü, özellik çıkarım ve eşleştirme modüllerinin çıktılarının ön kontrol kontrol modülünde, son kontrolü ise karar modülünde gerçekleştirilir. Modüllerin ürettiği çıktıların yeteri kadar başarılı olamadığı konusunda kesin sonuç karar modülünde alan uzmanının değerlendirmesi sonucu üretilmektedir.

4.13. Bölüm Değerlendirilmesi

Bu bölüm, suç mahallinde tespit edilen ve kaynağı bilinmeyen bir parmak izinin geliştirilmesi ve toplanmasından başlayarak, bu izin bir tanımlama/doğrulama sisteminde kullanılabilir hale gelmesi için gerçekleştirilen tüm işlem basamakları ve bu basamaklarda kullanılan yaklaşımların genel olarak bir özetini sunmuştur. İlk aşamada, suç mahallinde tespit edilen ve delil olarak tanımlanan parmak izinin kriminal açıdan nasıl analiz edildiği araştırılmıştır. Kriminal analiz sürecinin daha iyi kavranabilmesi için, süreç bileşenlerine ayrılarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucu görülmüştür ki, suç mahallinde bir parmak izi tespit edilmek istendiğinde çok meşakkatli, karmaşık, uzun zaman alan ve uzmanlık gerektiren işlem basamaklarının yüksek maliyetli ve kullanımı profesyonellik gerektiren ekipmanlarla gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu bakış açısıyla, suç mahallinden kaynağı

bilinmeyen bir parmak izinin tespiti ve geliştirilmesi üzerine kullanılan yöntemler araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda, kullanımı uzmanlık gerektirmeyen, uygulanırken parmak izinin yapısına etki etmeyecek, düşük maliyetli bir parmak izi geliştirme yönteminin geliştirilmesinin olay yeri inceleme süreci için önemi ortaya konulmuş ve yeni bir veri geliştirme prosedürü içeren MALFIS geliştirilmiştir. MALFIS; görünmez veya latent olarak adlandırılan ve kaynağı belli olmayan parmak izinin tespitini, geliştirilmesi ve toplanmasını sağlayan, bu işlemleri yaparken görünür ışık ve basit bir veri toplama düzeneği kullanan bir sistemdir. Önerilen algılama ve geliştirme prosedürünün yeterliliğini kontrol edebilmek adına, toplanan veri MALFIS'in sahip olduğu modüller kullanılarak bir biyometrik tanımlama/doğrulama sisteminde kullanılabilecek formata dönüştürülmüştür. Son olarak, geliştirilen tüm bu prosedürler, tez kapsamında toplanan parmak izi örnekleri kullanılarak performans değerlendirilmesine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, alternatif bir veri geliştirme yöntemi kullanılarak tasarlanan MALFIS, olay yeri inceleme sonucu tespit edilen bir parmak izinin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve bu izlerin büyük bir veri tabanındaki örneklerle karşılaştırılması işlevlerini yerine getirebilen bir AFIS olarak çalışabilmektedir.

MALFIS, akıllı telefon kullanılarak toplanan latent parmak izinin bir biyometrik tanımlama/doğrulama sisteminde kullanılabilirliğini göstermek için tasarlanmış bir sistemdir. MALFIS tespit/geliştirme/toplama, iyileştirme, özellik çıkarımı, eşleştirme, kontrol ve karar modüllerinden oluşmakta olup, sistemin çalışma mekanizması ve tüm modüllerin birbirleri ile iletişiminin tasarım modeli, bir AFIS prototipi olarak düşünülebilir. MALFIS'in geliştirilmesindeki temel amaç, sadece optik yöntemler kullanılarak geliştirilen parmak izlerinin literatürde yer alan mevcut iyileştirme ve eşleştirme yöntemleri ile işlenebilirliğini ve önerilen bu veri geliştirme prosedürünün geleneksel yöntemlerle toplanan izlerle aynı işlevi görebileceğini göstermektir.

Yeni bir parmak izi geliştirme ve toplama yönteminin önerilme isteği, aslında bu alanda gözlemlenen eksikliklerin fark edilmesi ile ortaya çıkmıştır. Latent parmak izinin tespiti ve geliştirilmesinde gerçekleştirilen çoğu müdahale, kullanılan ekipman/bileşen vb. sebeplerle iz kalıntısında tahribat yaratmakta, alternatif analizlere (DNA, kan vb.) imkân vermemekte, içerdiği prosedürler bakımından uzmanlık alan bilgisi/yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu kapsamda tez çalışmasında önerilen MALFIS, belirli yüzeyler için yukarıda bahsi geçen dezavantajları ortadan kaldıracak bir latent parmak izi geliştirme ve toplama imkânı sunan

ve kolluk kuvvetlerinin hali hazırda kullandığı tanımlama/doğrulama sistemlerine kolayca entegre olabilecek bir sistemdir.

Sonuç olarak Malfis:

- Latent parmak izlerini tespit etmek ve görünür hale getirmek için fiziksel ve kimyasal geliştirme yöntemlerinin içsel problemlerinin üstesinden gelmek için alternatif bir yaklaşım geliştirmek üzere yola çıkılarak,
- Temassız, tahribatsız, fiziksel ve kimyasal geliştirme yöntemleri kullanmadan latent parmak izinin tespit edebilen ve geliştirebilen,
- Fiziksel ve kimyasal yöntemlerde olduğu gibi karmaşık, uygulanması alan bilgisi ve uzmanlık gerektiren, maliyetli ve karmaşık geliştirme adımları ve ekipmanlara gerek kalmadan,
- Sadece optik yöntemlerin kullanıldığı algılama ve geliştirme prosedürü ile latent parmak izini tespit etmek ve geliştirmek için tasarlanmış veri edinim düzeneğini kullanarak parmak izi toplayabilen,
- Topladığı parmak izlerini iyileştirebilen, karşılaştırabilen ve eşleştirebilen

uçtan uca biyometrik tanımlama işlemini gerçekleştiren bir sistemdir. Malfis'in latent parmak izi tespit ve toplama için önerdiği yaklaşım ile benzer akademik çalışma örnekleri bulunamadığından, benzer mantıkta çalışan ticari ürünlere Çizelge 4.1'de yer verilmiştir. Malfis'in görüntü ön işleme prosedürü ile benzer faaliyet gösteren diğer yaklaşımlar ise Çizelge 4.2'de özetlenmiştir. Malfis'in performans değerlendirilmesi için kullanılan ölçütler doğrultusunda (%96 doğruluk oranı ve Şekil 4.15'deki ROC eğrileri), bu sistemin kabul görülen performans aralığında olduğu görülmüştür.



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Biyometrik teknolojilerdeki son gelişmeler, birçok uygulama alanında manuel tanımlama ve doğrulama yaklaşımlarının yerini almakta, sistemlerdeki boşlukları doldurmakta ve eksiklikleri gidermektedir. Bu gelişmelerin sunduğu imkânlar analitik bir bakış açısı ile değerlendirilerek ve sunulan bu imkânları mevcut biyometrik sistemlere entegre edebilecek her yaklaşımın değerli olduğu düşünülerek, tez çalışması kapsamında kaynağı bilinen parmak izlerini kullanarak tanımlama/doğrulama yapabilen MAFIS ile kaynağı bilinmeyen parmak izlerini kullanarak tanımlama yapabilen MALFIS adını verdiğimiz iki sistem geliştirilmiş, test edilmiş ve başarıyla sunulmuştur. MAFIS ve MALFIS'i kendi uygulama alanları içinde değerlendirebilmek için, tez çalışmasının da giriş bölümünde yer verilen (Bkz. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2) hususlar da göz önünde bulundurularak, geliştirilen bu sistemlerin performansları kritik edilmiş, tez çalışması kapsamında geliştirilen bu iki sistem genel ve özel olarak değerlendirilmiştir.

Geliştirilen ilk sistem MAFIS; literatürde yer alan temassız edinim yöntemleri, bu yöntemler kullanılarak geliştirilen sistemlerin tanımlama/doğrulama performansları ve eşleştirme başarıları ile karşılaştırılmak suretiyle değerlendirilmiştir ve elde edilen sonuçlara aşağıda yer verilmiştir:

1. Parmak izini temassız yöntemlerle toplayabilen bir veri edinim düzeneği tasarlanmıştır. Bu düzenekte yer alan temassız veri edinim aparatı sayesinde temaslı edinim yöntemlerden kaynaklanan problemlerden (deformasyon, bir önceki bireyden kalan kalıntıdan kaynaklanan gürültü, hijyen vb.) veya parmak izi toplamak için kullanılan cihazının içsel problemlerinden (düşük performans, dayanıklılık seviyesi, karmaşık kurulum ve kullanım vb.) etkilenmeyen ve yeni bir veri edinim yaklaşımını kullanan algılama ve geliştirme prosedürü tasarlanmış ve başarıyla sunulmuştur.
2. Algılama ve geliştirme prosedürünün başarısını gözlemleyebilmek ve toplanan parmak izinin tanımlama/doğrulama işlemi için kullanılabilir hale getirebilmek adına görüntü ön işleme prosedürü tasarlanmış ve başarıyla sunulmuştur.
3. Algılama ve geliştirme prosedürünü, görüntü ön işleme prosedürünü ve sistemin genel başarısını çok yönlü değerlendirebilecek bir karşılaştırma protokolü oluşturulmuştur. Bu protokol ile:

- a. Algılama ve geliştirme prosedürünün yeterliliğini gözlemek için, bu sistemle toplanan parmak izleri ve temaslı yöntemlerle toplanan parmak izleri, Senaryo-II üzerinden Veri Seti B kullanılarak çapraz karşılaştırmaya tabii tutulmuş ve test edilmiştir. Şekil 3.18’de yer alan II nolu ROC eğrisinden de görülebileceği gibi yüksek bir eşleştirme başarısı elde edilmiştir.
 - b. Görüntü ön işleme prosedürünün yeterliliğini gözlemek için, literatürdeki akademik çalışmalarda kullanılan parmak izleri MAFIS’in ön işleme prosedürü ile tanımlama/doğrulama işlemi için kullanılabilir hale getirildikten sonra, MAFIS’in karşılaştırma protokolünde yer alan Senaryo-I üzerinden Veri Seti A kullanılarak karşılaştırma işlemine tabi tutulmuş olup, eşleştirme başarıları Şekil 3.18’de I nolu ROC eğrisi ile verilmiştir. Literatürdeki akademik çalışmalarda kullanılan ve benzer yaklaşımlarla toplanan parmak izleri ile MAFIS test edildiğinde, yüksek eşleştirme performansı elde edilmiştir.
 - c. Karşılaştırma protokolünde kullanılan diğer senaryolar ve başarıları MAFIS’in farklı açılardan analiz edilebilmesi için geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.18’de verilmiş olup III ve IV nolu ROC eğrileri incelendiğinde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.
 - d. ROC eğrileri dışında MAFIS’in performansını farklı bir açıdan da değerlendirebilmek adına, elde edilen karşılaştırma sonuçlara ait karmaşıklık matrisi kullanılarak hesaplanan doğruluk oranları ise Veri Seti A için %99 ve Veri Seti B için %98 olarak ölçülmüştür.
4. Geliştirilen sistem literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmış, Çizelge 3.2’de yer alan temassız yöntemler kullanılarak geliştirilen diğer yaklaşımların sonuçları ile önerilen sistemden elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.
 5. Literatürde temassız parmak izi kullanılarak tasarlanmış biyometrik sistemlerin yer aldığı çalışmaların iki temel problemi bulunmaktadır. Çalışmaların bir kısmı parmak izi toplama işlemini sabit, karmaşık, maliyetli, kurulum gerektiren veri edinim düzenekleri kullanarak gerçekleştirmekte, diğer bir kısım ise her türlü koşulda ve ortamda toplanan parmak izlerini kullanılabilir hale getirmeye çalışmaktadır. MAFIS’i diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellik, hem parmak izini toplama ortamını standartlaştıracak bir yaklaşımı içermesi hem bu işlemi yaparken kullandığı veri edinim düzeneğinin taşınabilir, düşük maliyetli, kullanımı kolay, kurulum gerektirmeyen özellikte olmasıdır. MAFIS, belirtildiği gibi çok kompleks bir düzenek kullanılmadan ve ortam şartlarından etkilenmeden, kullandığı algılama ve geliştirme prosedürü sayesinde parmak izinden

daha fazla karakteristik özellik toplayabildiği için yüksek eşleştirme başarısı elde etmiştir.

6. Tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS'in hem literatüre kazandırılması hem de inovasyon ve teknolojiye dönüştürülmesi için, bu tez kapsamında bir çalışma yapılarak geliştirilen sistem için patent müracaatı yapılmıştır.

Biyometrik tanıma sistemlerini en çok zorlayan veri grubu kaynağı bilinmeyen parmak izleridir. Bu tarz parmak izleri önce manuel müdahalelerle geliştirilerek tanımlama sisteminde kullanılabilir hale getirilmekte, sonrasında ise tanımlama sisteminden elde edilen sonuçlar yine manuel değerlendirme sonucu yorumlanmaktadır. Gerçekleştirilen bu manuel müdahalelerin yerini alacak otomatik mekanizmaların geliştirilmesi fikrinden yola çıkılarak, kaynağı bilinmeyen parmak izinin tespiti, toplanması, aktarılması, iyileştirilmesi ve karşılaştırılması için geliştirilmiş olan MAFIS'den elde edilen sonuçlara aşağıda yer verilmiştir:

1. Fiziksel ve/veya kimyasal geliştirme yöntemleri kullanmadan, sadece optik geliştirme yöntemleri kullanılarak yansıma özelliği olan yüzeylerdeki latent parmak izlerini tespit eden bir veri edinim düzeneği ile bu izleri geliştiren ve toplayan algılama ve geliştirme prosedürü tasarlanmış ve sunulmuştur. Algılama ve geliştirme prosedüründe yer alan veri edinim düzeneği sayesinde, parmak izini oluşturan bileşenlerin yapısal özelliklerine etki etmeden, sadece optik geliştirme yöntemleri kullanılarak latent parmak izini toplamak için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.
2. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, latent (görünmez) parmak izinin tespit edilebilmesi ve geliştirilmesi için mutlaka bir ön geliştirme müdahalesi gerçekleştirilmekte, sonrasında geliştirilerek görünür hale getirilen parmak izi biyometrik tanımlama işleminde kullanılmaktadır. MAFIS'in temassız ve sadece optik geliştirme yöntemleri ile görünmez parmak izlerini tespit edebildiği, geliştirebildiği ve toplayabildiği 4. bölümde detayları verilen veri edinim düzeneği ile toplanan örneklerle bakılarak görülmektedir (Bkz. Şekil 4.11). Sonuç olarak, sadece optik geliştirme yöntemleri kullanılarak latent parmak izinin tespit edilmesi, toplanması ve bu ize harici bir geliştirme müdahalesi uygulanmadan biyometrik tanıma işlemi için kullanılması açısından tez çalışmasında bir ilk gerçekleştirilmiştir.
3. Görüntü ön işleme prosedüründe yer alan tüm yöntemler literatürde yer alan segmentasyon ve iyileştirme yaklaşımlarının modifiye edilmiş versiyonlarından

oluşmaktadır. Fakat bu yöntemler, sadece optik geliştirme ile tespit edilen ve görünür hale getirilen latent parmak izlerini bölütlemek ve iyileştirmek için ilk kez kullanılmıştır.

4. Literatürde latent parmak izi üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda, latent parmak izinin bir fiziksel ve/veya kimyasal ön geliştirme müdahalesine tabi tutulduktan sonra iyileştirmesi aşamasına geçildiği ve optik geliştirmenin sadece parmak izinin tespiti ve görünürlüğünün artırılmasında yardımcı bir yöntem olarak kullanıldığı görülmüştür. Tez çalışması kapsamında geliştirilen Malfis, bu alanda da bir ilk olup sadece optik yöntemle geliştirilmiş latent parmak izini kullanarak tanımlama işlemini gerçekleştirilmiştir.
5. Bu sistemin geliştirilmesinin arkasında yatan en büyük motivasyon, kaynağı bilinmeyen parmak izlerinin tespiti, geliştirilmesi, toplanması, iyileştirilmesi ve eşleştirilmesi adımlarında manuel müdahaleye gerek kalınmadan ya da müdahalenin en asgariye indirildiği, uçtan uca bir biyometrik tanımlama sistemi tasarlayabilmektir. Malfis'i oluşturan algılama ve geliştirme prosedürü, görüntü ön işleme prosedürü ve sistemin çalışma mekanizmasını meydana getiren modüler yapı, uzmanlık alan bilgisi gerektirmeyen ve manuel müdahalenin asgariye indiren yeni bir bakış açısı sunmuştur.
6. Algılama ve geliştirme prosedürünü, görüntü ön işleme prosedürünü ve sistemin genel başarısını çok yönlü değerlendirebilecek bir karşılaştırma protokolü oluşturulmuştur. Bu protokol ile:
 - a. Malfis'in algılama ve geliştirme prosedürü ve Malfis için tasarlanan veri edinim aparatı kullanılarak tespit edilen, geliştirilen ve toplanan latent parmak izlerinin kullanılabilirliğini gözlemlemek için, bu sistem ile toplanan parmak izleri ile temaslı yöntemlerle toplanan parmak izleri çapraz karşılaştırılarak eşleştirme başarısı ölçülmüştür. Bu değerlendirme Senaryo-I ve Senaryo-II üzerinden Veri Seti A ve Veri Seti B kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'deki ROC eğrileri üzerinden gösterilmiştir.
 - b. Karşılaştırma protokolünde kullanılan diğer senaryolar, veri setleri ve eşleştiriciler Malfis'in farklı açılardan analiz edilebilmesi için geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'de ROC eğrileri ile gösterilmiştir.
 - c. ROC eğrileri dışında sistem performansını farklı bir açıdan da değerlendirebilmek için, elde edilen karşılaştırma sonuçlara ait karmaşıklık matrisi kullanılarak hesaplanan doğruluk oranı Veri Seti A için %96 olarak ölçülmüştür.
7. Malfis'in sunmuş olduğu performans değerinin karşılaştırılabileceği benzer çalışmalarla literatürde karşılaşılmamıştır. Literatürde latent parmak izi üzerine

gerçekleştirilen bütün çalışmalarda, latent parmak izinin görünürlüğü muhakkak bir fiziksel ve/veya kimyasal müdahale ile geliştirildiği için, aynı veri edinim senaryosuna ait karşılaştırma yapılabilecek çalışmalar bulunmamaktadır. Buna ek olarak sadece optik geliştirmenin kullanıldığı çalışmaların da bulunmaması sebebiyle MAFIS'in bu alanda ilk olduğu görülmüştür.

8. MAFIS'in sunmuş olduğu performansı değerlendirmek için ticari ürünler de incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda, 4. bölümde de detaylı olarak ifade edilmiş optik geliştirme yöntemleri içerisinde morötesi ve kızılötesi aydınlatmanın kullanıldığı optik geliştirme yöntemlerine sahip ticari ürünlerin olduğu görülmüştür. Fakat bu iki geliştirme yöntemi de, parmak izi kalıntısına zarar vermesi sebebiyle MAFIS'in sunmuş olduğu tahribatsız veri toplama avantajına sahip değildir. Görülmektedir ki, MAFIS ticari ürünler içerisinde de sunmuş olduğu avantajlar üzerinden öne çıkmıştır.
9. Tez çalışması kapsamında geliştirilen MAFIS'in hem literatüre kazandırılması hem de inovasyon ve teknolojiye dönüştürülmesi için, bu tez kapsamında bir çalışma yapılarak geliştirilen sistem için patent müracaatı yapılmıştır.

Sonuç olarak; MAFIS ve MAFIS'in sistem başarısını en doğru şekilde gösterebilmek için, her iki sistemi test edebilecek senaryolar ve bu senaryolarda kullanılmak üzere düzenlenen veri setleri belirlenirken detaylı bir araştırma yapılmıştır. Her iki sistem özel bir algılama ve geliştirme prosedürüne sahiptir. Bu prosedürde kullanılan veri edinim düzeneklerinin test edilebilmesi için, hem bu düzenekler hem geleneksel yöntemler ile toplanan parmak izlerinin çapraz doğrulanması için oluşturulmuş senaryolar ve veri setleri sayesinde, tez çalışması kapsamında sunulan bu iki sistem için geliştirilen veri toplama yönteminin başarı olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, MAFIS ve MAFIS'in diğer bileşenleri olan ön işleme prosedürünün de başarılı olduğunu ispatlamak için, literatürde yer alan ve geleneksel yöntemlerle toplanmış parmak izleri kullanılarak geliştirilen senaryolar ve veri setleriyle harici bir değerlendirme yapılmıştır. Tez çalışmasında yer verilen bu senaryolar ve toplanan veri setleri, analitik bakış açısıyla literatürde yer alan değerlendirme yöntemlerinden de feyz alınarak geliştirilmiş ve oluşturulmuş olup, bu senaryoların ve veri setlerini gelecek çalışmalarda da kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Önerilen MAFIS ve MAFIS'in bundan sonra yapılacak hem akademik hem de inovatif çalışmalara ışık tutacağı, tez çalışmasında kapsamlı olarak ele alınan adli bilimler alanındaki

pek çok hususun teknolojik, ekonomik ve yönetsel olarak iyileştirilmesine ve geliştirilmesine katkıları sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Hem MAFIS hem MAFIS'in geliştirilmesi sürecinde karşılaşılan en büyük zorluklar, her iki sistem için tasarlanan veri edinim aparatları ve algılama ve geliştirme prosedürleridir. Çünkü bu tez çalışmasının ana motivasyonlarından olan "manuel müdahaleleri asgariye indirmek" ve "alan uzmanının etkisini asgariye indirmek" iddialarını gerçekleştirmek için çok fazla akademik çalışma incelenmiş, hem kaynağı bilinen hem kaynağı bilinmeyen parmak izleri için bir biyometrik tanımlama/doğrulama mekanizmasının nasıl işlediği tüm detayları ile değerlendirilmiştir. Tez çalışmasında karşılaşılan diğer bir zorluk ise, sadece optik yöntemler kullanılarak geliştirilmiş bir latent parmak izinin nasıl iyileştirilebileceği ile ilgili rol model yaklaşımların literatürde yer almamasıdır. Bu sebeple, MAFIS'in algılama ve geliştirme prosedüründe kullanılan yöntemlerin belirlenmesi ve toplanan latent parmak izine uygulanışı sürecinde, görüntü işleme üzerine genel bir değerlendirmenin gerçekleştirilmesi gerekmiştir.

Bu tez çalışmasında sunulan iki sistem önerisi de dikkate alınarak ve yapılan bu çalışmalara ilave olarak bu tezin devamında:

1. MAFIS için farklı görüntüleme tekniklerinden faydalanılarak veya üç boyutlu görüntüleme teknikleri kullanılarak daha fazla karakteristik özellik yakalamak suretiyle sistem performansını arttırmak
2. MAFIS için çalışabildiği yüzeylerin çeşitliliğini arttırmak,
3. MAFIS ve MAFIS'in veri edinim prosedürlerini mevcut sistemlere eklemek ve
4. Önerilen sistemlerin performanslarını sahada değerlendirmek ve eşleştirme başarısını belirlemek için parmak izlerini büyük veri tabanlarında test etmek

üzere yeni çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Sağiroğlu, Ş., Arslan, B. (2019). *Fighting with Cyber Terror and Terrorism: Threats and Precautions*. International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Samsun, Turkey, 239-244.
2. Arslan, B., Sağiroğlu, Ş. (2019). Biyometrik Sistemlerde Güvenlik ve Mahremiyet., Ş. Sağiroğlu (Editörler). *Siber Güvenlik ve Savunma: Standartlar ve Uygulamalar*. Birinci Baskı. Ankara. Grafiker Yayın, 347-385.
3. Tistarelli, M., Champod, C. (2005). *Handbook of biometrics for forensic science*. Switzerland: Springer, 19-61.
4. Jain, A., Hong, L., Pankanti, S. (2000). Biometric identification. *Communications of the ACM*, 43(2), 90-98.
5. Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K., Prabhakar, S. (2009). *Handbook of fingerprint recognition*. London: Springer, 1-268.
6. Ahmad, T. (2012). *Global and local feature-based transformations for fingerprint data protection*, Ph. D. Thesis, RMIT University College of Science, Engineering and Health, Melbourne, 14-41.
7. Daluz, H.M. (2018). *Fundamentals of fingerprint analysis*. Florida: CRC Press, 43-248.
8. Wayman, J.L., Jain, A.K., Maltoni, D., Maio, D. (2005). *Biometric systems: Technology, design and performance evaluation*. USA: Springer, 21-59.
9. Asnani, M., Soni, A., Asnani, P., Mistry, E., Patel, N., Gupta, A. (2018). The mystery of handprints-Dermatoglyphics and dentistry. *International Journal of Oral Care and Research*, 6(3), 31-34.
10. Reinart, L.F. (2014). *Investigating sex differences in fingerprint minutiae density of the core region utilizing the minutiae: ridge-length ratio*, Master Thesis, Boston University School Of Medicine, Boston, 1-8.
11. Jain, A.K., Chen, Y., Demirkus, M. (2006). Pores and ridges: High-resolution fingerprint matching using level 3 features. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(1), 15-27.
12. Prabhakar, S. (2001). *Fingerprint classification and matching using a filterbank*. Ph. D. Thesis. Michigan State University Department of Computer Science & Engineering, Michigan, 1-172.
13. Jain, A., Hong, L., Bolle, R. (1997). On-line fingerprint verification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(4), 302-314.

14. Chikkerur, S.S. (2005). *Online fingerprint verification System*, Master Thesis, Faculty of the Graduate School of the State University of New York at Buffalo, New York, 28-48.
15. Labati, R.D., Piuri, V., Scotti, F. (2015). *Touchless fingerprint biometrics*. Boca Raton: CRC Press, 37-134.
16. Memon, S., Sepasian, M., Balachandran, W. (2008). *Review of finger print sensing technologies*. IEEE International Multitopic Conference, Karachi, Pakistan, 226-231.
17. Jain, A.K., Flynn, P., Ross, A.A. *Handbook of biometrics*. Newyork: Springer, 1-42.
18. Baxter Jr, E. (2015). *Complete crime scene investigation handbook*. Boca Raton: CRC Press, 47-204.
19. Komarinski, P. (2005). *Automated fingerprint identification systems (AFIS)*. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 73-118.
20. Lee, H.C., Pagliaro, E.M. (2013). Forensic evidence and crime scene investigation. *Journal of Forensic Investigation*, 1(2), 1-5.
21. Gehl, R., Plecas, D. (2017). *Introduction to criminal investigation: processes, practices and thinking*. New Westminster, BC: Justice Institute of British Columbia, 33-153.
22. İnternet: Holder, E.H., Robinson, L.O., Laub, J.H. (2011). *The fingerprint sourcebook*, National Institute of Justice, URL: <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/225320.pdf>, Son Erişim Tarihi: 25.05.2021.
23. Houck, M.M. (2016). *Forensic fingerprints*. USA: Academic Press, 29-294.
24. Fisher, B.A., Fisher, D.R. (2012). *Techniques of crime scene investigation*. Boca Raton: CRC Press, 67-149.
25. Fish, J.T., Miller, L.S., Braswell, M.C., Wallace, E.W. (2013). *Crime scene investigation*. London: Routledge, 1-110.
26. Wrightsman, L.S. (2001). *Forensic psychology*. Belmont, CA: Wadsworth, 52-111.
27. Wagstaff, I.R. LaPorte, G. (2018). The importance of diversity and inclusion in the forensic sciences. *National Institute of Justice Journal*, 279, 81-91.
28. García-Garduza, I. (2019). Forensic Investigation and the National Code of Criminal Procedures in Mexico. *Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud*, 3(2), 54-70.
29. Julian, R., Kelty, S., Robertson, J. (2012). Get it right the first time: Critical Issues at the Crime Scene. *Current Issues in Criminal Justice*, 24(1), 25-37.

30. Arslan, B. Sagirolu, S. (2019). Fingerprint Forensics in Crime Scene: A Computer Science Approach. *International Journal of Information Security Science*, 8(4), 88-113.
31. Roux, C., Talbot-Wright, B., Robertson, J., Crispino, F., Ribaux, O. (2015). The end of the (forensic science) world as we know it? The example of trace evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1674).
32. Shen, W. (1994). *Automated fingerprint identification system (AFIS) benchmarking using the National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Database 4*. IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, Albuquerque, NM, USA, 188-194.
33. Kaushal, N., Kaushal, P. (2011). Human identification and fingerprints: a review. *Journal of Biometrics & Biostatistics*, 2(4), 1-5.
34. İnternet: Wilson, C.L., Watson, C.I., Garriss, M.D., Hicklin, R.A. (2003). Studies of fingerprint matching using the NIST verification test bed (VTB). *National Institute of Standards & Technology*, URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_idwww.=50783, Son Erişim Tarihi: 27.03.2021.
35. Mokwele, M.E. (2016). *The value of the automated fingerprint identification system as a technique in the identification of suspects*, Ph. D. Thesis, University of South Africa, Pretoria, 24-85.
36. İnternet: Lothridge, K., Fitzpatrick, F. (2013). Crime Scene Investigation A Guide for Law Enforcement. URL: <https://www.nist.gov/system/files/documents/forensics/Crime-Scene-Investigation.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.03.2021.
37. Champod, C., Lennard, C.J., Margot, P., Stoilovic, M. (2017). *Fingerprints and other ridge skin impressions*. Boca Raton: CRC Press, 1-321.
38. İnternet: Dvornychenko, V.N., Garriss, M.D. (2006). Summary of NIST Latent Fingerprint Testing Workshop. URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=50876, Son Erişim Tarihi: 27.03.2021.
39. İnternet: Indovina, M.D., Hicklin, R., Kiebusinski, G.I. (2011). NIST evaluation of latent fingerprint technologies: Extended feature sets [Evaluation# 1]. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir7775.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.03.2021.
40. Langenberg, G. (2009). A performance study of the ACE-V process: a pilot study to measure the accuracy, precision, reproducibility, repeatability, and biasability of conclusions resulting from the ACE-V process. *Journal of Forensic Identification*, 59(2), 219-257.
41. Triplett, M. Cooney, L. (2006). The etiology of ACE-V and its proper use: An exploration of the relationship between ACE-V and the scientific method of hypothesis testing. *Journal of Forensic Identification*, 6(3), 345-355.

42. Ashbaugh, D.R. (1999). *Quantitative-qualitative friction ridge analysis: an introduction to basic and advanced ridgeology*. Boca Raton: CRC Press, 1-158.
43. İnternet: (2002). SWGFAST, Friction Ridge Examination Methodology for Latent Print Examiners. URL: http://onin.com/fp/lp_exam_methodology.pdf, Son Erişim Tarihi: 27.03.2021.
44. Langenburg, G. (2012). *A critical analysis and study of the ACE-V Process*, Ph. D. Thesis, Faculté de Droit, Des Sciences Criminelles, Lausanne, 7-51.
45. Jain, A.K., Nandakumar, K., Ross, A. (2016). 50 years of biometric research: Accomplishments, challenges, and opportunities. *Pattern Recognition Letters*, 79, 80-105.
46. Pankanti, S., Prabhakar, S., Jain, A.K. (2002). On the individuality of fingerprints. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(8), 1010-1025.
47. İnternet: Srihari, S.N., Srinivasan, H. (2007). Individuality of fingerprints: comparison of models and measurements. URL: <https://cedar.buffalo.edu/~srihari/papers/TR-02-07.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.03.2021.
48. Accursio, E. (2014). *Latent fingerprint examination: Elements, human factors and recommendations*. UK: Nova Science Publishers, 1-334.
49. İnternet: Taylor, M.K., Kaye, D.H., Busey, T., Gische, M., LaPorte, G., Aitken, C., Ballou, S.M., Butt, L., Champod, C., Charlton, D., Dror, I.E., Epstein, J., Garrett, R.J., Houck, M., Imwinkelried, E.J., Keaton, R., Langenburg, G., Leben, D.A., Maceo, A., Martin, K.F., Mnookin, J.L., Neumann, C., Polski, J., Roberts, M.A., Shappell, S.A., Shaver, L., Srihari, S.N., Stern, H.S., Stoney, D., Swienton, A., Theofanos, M.F., Thompson, R.M., Vanderkolk, J., Weir, M., Wertheim, K. (2012). Latent print examination and human factors: Improving the practice through a systems approach. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2012/NIST.IR.7842.pdf>, Son Erişim Tarihi: 27.03.2021.
50. Dhanotia, J., Chatterjee, A., Bhatia, V., Prakash, S. (2018). A simple low cost latent fingerprint sensor based on deflectometry and WFT analysis. *Optics & Laser Technology*, 99, 214-219.
51. Noh, D., Choi, H., Kim, J. (2011). Touchless sensor capturing five fingerprint images by one rotating camera. *Optical Engineering*, 50(11).
52. Zhang, D., Liu, F., Zhao, Q., Lu, G., Luo, N. (2010). Selecting a reference high resolution for fingerprint recognition using minutiae and pores. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(3), 863-871.
53. Rowe, R.K., Nixon, K.A., Butler, P.W. (2008). Multispectral fingerprint image acquisition, *Advances in Biometrics*, 3-23.

54. Liu, F., Liu, G., Zhao, Q., Shen, L. (2020). Robust and High-security Fingerprint Recognition System Using Optical Coherence Tomography. *Neurocomputing*, 402, 14-28.
55. Du, Z., Li, J., Cao, X., Gao, H., Ma, Y. (2017). ., High-sensitive carbon disulfide sensor using wavelength modulation spectroscopy in the mid-infrared fingerprint region. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 247, 384-391.
56. Tartagni, M., Guerrieri, R. (1998). A fingerprint sensor based on the feedback capacitive sensing scheme. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 33(1), 133-142.
57. Akhoury, S.S., Darlow, L.N. (2015). *Extracting subsurface fingerprints using optical coherence tomography*. IEEE Third International Conference on Digital Information, Networking, and Wireless Communications (DINWC), Moscow, Russia, 184-187.
58. Tang, H., Lu, Y., Jiang, X., Ng, E.J., Tsai, J.M., Horsley, D.A., Boser, B.E. (2016). 3-D ultrasonic fingerprint sensor-on-a-chip. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 51(11), 2522-2533.
59. İnternet: (2019). Biometric Technologies. URL: https://www.fingerprints.com/uploads/2019/10/fpc_white_paper_digital.pdf, Son Erişim Tarihi: 28.03.2021.
60. Lu, Y., (2015). *Piezoelectric micromachined ultrasonic transducers for fingerprint sensing*. Ph. D. Thesis, University Of California Davis, 1-11.
61. Ratha, N.K. Govindaraju, V. (2008). *Advances in biometrics: sensors, algorithms and systems*. London: Springer, 3-74.
62. Song, Y., Lee, C., Kim, J. (2004). *A new scheme for touchless fingerprint recognition system*. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Seoul, South Korea, 524-527.
63. Buciu, I., Gacsadi, A. (2016). Biometrics systems and technologies: a survey. *International Journal of Computers Communications & Control*, 11(3), 315-330.
64. Kumar, A., Kwong, C. (2013). *Towards contactless, low-cost and accurate 3D fingerprint identification*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Portland, Oregon, USA, 3438-3443.
65. Wang, Y., Hassebrook, L.G., Lau, D.L. (2010). Data acquisition and processing of 3-D fingerprints. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 5(4) 750-760.
66. Hiew, B.Y., Teoh, A.B., Ngo, D.C. (2006). *Automatic digital camera based fingerprint image preprocessing*. IEEE International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV'06), Sydney, NSW, Australia.
67. Labati, R.D., Genovese, A., Piuri, V., Scotti, F. (2014). Touchless Fingerprint Biometrics: A Survey on 2D and 3D Technologies, *Journal of Internet Technology*, 15(3), 325-332.

68. Han, F., Hu, J., Alkhathami, M., Xi, K. (2011). *Compatibility of photographed images with touch-based fingerprint verification software*. IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Beijing, China, 1034-1039.
69. Kaur, P., Jain, A., Mittal, S. (2012). Touch-less Fingerprint Analysis--A Review and Comparison. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 2012. 4(6), 46-52.
70. Lee, H.C. Gaensslen, R.E. (2001). *Advances in Fingerprint Technology*. Boca Raton: CRC Press, 14-336.
71. Hiew, B.Y., Teoh, A.B., Pang, Y.H. (2007). *Digital camera based fingerprint recognition*. IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications, Penang, Malaysia, 676-681.
72. Derawi, M.O., Yang, B., Busch, C. (2011). *Fingerprint recognition with embedded cameras on mobile phones*. International Conference on Security and Privacy in Mobile Information and Communication Systems, Aalborg, Denmark, 136-147.
73. Wang, L., Abd El-Maksoud, R.H., Sasian, J.M., Valencia, V.S. (2009). Illumination scheme for high-contrast contactless fingerprint images. *Novel Optical Systems Design and Optimization XII*, San Diego, California, United States, 7429.
74. Piuri, V., Scotti, F. (2008). *Fingerprint biometrics via low-cost sensors and webcams*. IEEE Second International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems, Washington, DC, USA.
75. İnternet: Gupta, S., Anand, S., Rai, A. (2017). Fingerprint extraction using smartphone camera. URL: <https://arxiv.org/abs/1708.00884>, Son Erişim Tarihi: 28.03.2021.
76. Lee, D., Choi, K., Choi, H., Kim, J. (2008). Recognizable-image selection for fingerprint recognition with a mobile-device camera. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 38(1), 233-243.
77. Mueller, R. Sanchez-Reillo, R. (2009). *An approach to biometric identity management using low cost equipment*. IEEE Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Kyoto, Japan, 1096-1100.
78. Raghavendra, R., Busch, C., Yang, B. (2013). *Scaling-robust fingerprint verification with smartphone camera in real-life scenarios*. IEEE Sixth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS), Arlington, VA, USA.
79. Jonietz, C., Monari, E., Widak, H., Qu, C. (2015). *Towards mobile and touchless fingerprint verification*. IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), Karlsruhe, Germany.
80. Sankaran, A., Malhotra, A. Mittal, A., Vatsa, M., Singh, R. (2015). *On smartphone camera based fingerphoto authentication*. IEEE 7th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS), Arlington, VA, USA.

81. Birajadar, P., Gupta, S., Shirvalkar, P., Patidar, V., Sharma, U., Naik, A., Gadre, V. (2016). *Touch-less fingerphoto feature extraction, analysis and matching using monogenic wavelets*. IEEE International Conference on Signal and Information Processing (IConSIP), Nanded, India.
82. Carney, L.A., Kane, J., Mather, J.F., Othman, A., Simpson, A.G., Tavanai, A., Tyson, R.A., Xue, Y. (2017). *A multi-finger touchless fingerprinting system: mobile fingerphoto and legacy database interoperability*. 4th International Conference on Biomedical and Bioinformatics Engineering, Seoul, South Korea, 139–147.
83. Stein, C., Nickel, C., Busch, C. (2012). *Fingerphoto recognition with smartphone cameras*. IEEE International Conference of Biometrics Special Interest Group (BIOSIG), Darmstadt, Germany.
84. Stein, C., Bouatou, V., Busch, C. (2013). *Video-based fingerphoto recognition with anti-spoofing techniques with smartphone cameras*. IEEE International Conference of the BIOSIG Special Interest Group (BIOSIG), Darmstadt, Germany.
85. Tiwari, K., Gupta, P. (2015). *A touch-less fingerphoto recognition system for mobile hand-held devices*. IEEE International Conference on Biometrics (ICB), Phuket, Thailand.
86. Lee, C., Lee, S., Kim, J., Sung-Jae, K. (2006). *Preprocessing of a fingerprint image captured with a mobile camera*. International Conference on Biometrics, Hong Kong, China, 348-355.
87. Li, G., Yang, B., Olsen, M.A., Busch, C. (2013). *Quality assessment for fingerprints collected by smartphone cameras*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Portland, OR, USA, 146-153.
88. Kumar, A., Zhou, Y. (2011). *Contactless fingerprint identification using level zero features*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Colorado Springs, CO, USA, 114-119.
89. Ravi, H., Sivanath, S.K. (2013). *A novel method for touch-less fingerprint authentication*. IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security (HST), Waltham, MA, USA, 147-153.
90. Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins, S.L. (2009). *Digital image processing using MATLAB*. USA: Gatesmark Publishing, 80-208.
91. Choi, H., Choi, K., Kim, J. (2010). Mosaicing touchless and mirror-reflected fingerprint images. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 5(1), 52-61.
92. Liu, F., Zhang, D., Song, C., Lu, G. (2013). Touchless multiview fingerprint acquisition and mosaicking. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 62(9), 2492-2502.

93. Russ, J.C., Neal, F.B. (2015). *The Image Processing Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 243-434.
94. Ezhilmaran, D., Adhiyaman, M. (2014). A review study on fingerprint image enhancement techniques. *International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSET)*, 5, 625-631.
95. Bazen, A.M., Gerez, S.H. (2001). *Segmentation of fingerprint images*. Proceedings of ProRISC the 12th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, Veldhoven, The Netherlands, 276-280.
96. Karri, V.R.R., Manda, V.M. (2018). *Fingerprint Image Segmentation Using Local Radial Transformations*. Master Thesis, Department of Applied Signal Processing Blekinge Institute of Technology, Sweden, 4-12.
97. Kaur, D., Kaur, Y. (2014). Various image segmentation techniques: a review. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(5), 809-814.
98. Msiza, I.S., Mathekga, M.E., Nelwamondo, F.N., Marwala, T. (2011). Fingerprint segmentation: An investigation of various techniques and a parameter study of a variance-based method. *International Journal of Innovative Computing, Information, and Control (IJICIC)*, 7(9), 5313-5326.
99. Klein, S. (2002). *Fingerprint image segmentation based on hidden Markov models*. Master Thesis, University of Twente Department of Electrical Engineering Chair of Signals & Systems Enschede, The Netherlands, 39-53.
100. Rojas V.D.A., Aching S., J.L. (2006). *An improved method for segmentation of fingerprint images*. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA'06), Cuernavaca, Mexico.
101. Ghosh, A., Pal, N.R., Pal, S.K. (1991). Image segmentation using a neural network. *Biological Cybernetics*, 66(2), 151-158.
102. Wan, G.C., Li, M.M., Xu, H., Kang, W.H., Rui, J.W., Tong, M.S. (2020). XFinger-Net: Pixel-Wise Segmentation Method for Partially Defective Fingerprint Based on Attention Gates and U-Net. *Sensors*, 20(16), 4473.
103. Pappas, T.N., Jayant, N.S. (1989). *An adaptive clustering algorithm for image segmentation*. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, UK, 1667-1670.
104. Saparudin, S. (2010). Segmentation of Fingerprint Image Using Block-Wise Coherence Algorithm. *Jurnal Sistem Informasi (JSI)*, 2(2), 238-245.
105. Mehtre, B.M., Chatterjee, B. (1989). Segmentation of fingerprint images-a composite method. *Pattern recognition*, 22(4), 381-385.
106. Mehtre, B.M., Murthy, N.N., Kapoor, S., Chatterjee, B. (1987). Segmentation of fingerprint images using the directional image. *Pattern recognition*, 20(4). 429-435.

107. Ratha, N.K., Chen, S., Jain, A.K. (1995). Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images. *Pattern Recognition*, 28(11), 1657-1672.
108. Alonso-Fernandez, F., Fierrez-Aguilar, J., Ortega-Garcia, J. (2005). *An enhanced gabor filter-based segmentation algorithm for fingerprint recognition systems*. IEEE International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Zagreb, Croatia, 239-244.
109. Akram, M.U., Tariq, A., Jabeen, S., Khan, S.A. (2008). Fingerprint Image Segmentation Based on Boundary Values. *Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, Funchal, Madeira, Portugal, 1, 134-138.
110. İnternet: Tripathy, B.K., Mouli, P.V.S.S.R.C. (2013). Graph Based Segmentation of Digital Images. URL: https://www.researchgate.net/publication/235782478_Graph_Based_Segmentation_of_Digital_Images, Son Erişim Tarihi: 28.03.2021.
111. Camilus, K.S., Govindan, V., (2012). A Review on Graph Based Segmentation. *International Journal of Image, Graphics & Signal Processing*, 5, 1-13.
112. Felzenszwalb, P.F., Huttenlocher, D.P. (1998). *Image segmentation using local variation*. in *Proceedings*. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Puerto Rico, USA, 1, 98.
113. Urquhart, R. (1982). Graph theoretical clustering based on limited neighbourhood sets. *Pattern recognition*, 15(3), 173-187.
114. Gonzales, R.C., Woods, R.E. (2002). *Digital image processing*. New York: Pearson, 31-349.
115. Abbood, A.A., Sulong, G., Peters, S.U. (2014). A review of fingerprint image pre-processing. *Jurnal Teknologi*, 69(2), 79-84.
116. Babatunde, I.G., Charles, A.O., Kayode, A.B., Olatubosun, O. (2012). *Fingerprint image enhancement: Segmentation to thinning*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 3(1), 15-24.
117. Chaudhari, A.S., Patil, S.S. (2013). A study and review on fingerprint image enhancement and minutiae extraction. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 9(6), 53-56.
118. Misra, D.K., Tripathi, S. (2012). A study report on finger print image enhancement methods. *International Journal of Computer Science & Communication*, 3(1), 163-170.
119. Rajin, R., AjithKumar, R. (2015). Comparative study on various fingerprint image enhancement techniques. *An international journal of advanced computer technology*, 4(2), 1502-1508.
120. Schuch, P. (2019). *Deep Learning for Fingerprint Recognition Systems*, Ph. D. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian, 39-163.

121. Turrone, F. (2012). *Fingerprint Recognition: Enhancement, Feature Extraction and Automatic Evaluation of Algorithms*, Ph. D. Thesis, Universita di Bologna, Italy, 1-90.
122. Hong, L., Wan, Y., Jain, A. (1998). Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 20(8), 777-789.
123. Greenberg, S., Aladjem, M., Kogan, D. (2002). Fingerprint image enhancement using filtering techniques. *Real-Time Imaging*, 8(3), 227-236.
124. Chikkerur, S., Cartwright, A.N., Govindaraju, V. (2007). Fingerprint enhancement using STFT analysis. *Pattern recognition*, 40(1), 198-211.
125. Jirachaweng, S. and V. Areekul. (2007). *Fingerprint enhancement based on discrete cosine transform*. International Conference on Biometrics, Seoul, South Korea, 96-105.
126. Sherlock, B.G., Monro, D., Millard, K. (1994). Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering. *IEEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 141(2), 87-94.
127. Almansa, A., Lindeberg, T. (2000). Fingerprint enhancement by shape adaptation of scale-space operators with automatic scale selection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(12), 2027-2042.
128. Hsieh, C.T., Lai, E., Wang, Y.C. (2003). An effective algorithm for fingerprint image enhancement based on wavelet transform. *Pattern Recognition*, 36(2), 303-312.
129. Cheng, J., Tian, J. (2004). Fingerprint enhancement with dyadic scale-space. *Pattern Recognition Letters*, 25(11), 1273-1284.
130. Saravanan, C. (2010). *Color image to grayscale image conversion*. IEEE Second International Conference on Computer Engineering and Applications, Bali, Indonesia, 196-199.
131. Ma, J., Fan, X., Yang, S.X., Zhang, X., Zhu, X. (2018). Contrast limited adaptive histogram equalization-based fusion in YIQ and HSI color spaces for underwater image enhancement. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 32(7).
132. Xu, Z., Liu, X., Ji, N. (2009). *Fog removal from color images using contrast limited adaptive histogram equalization*. IEEE 2nd International Congress on Image and Signal Processing, China.
133. Pizer, S.M., Amburn, E.P., Austin, J.D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., Romeny, B.H., Zuiderveld, K. (1987). Adaptive histogram equalization and its variations. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 39(3), 355-368.

134. Zimmerman, J.B., Pizer, S.M., Staab, E.V., Perry, J.R., McCartney, W., Brenton, B.C. (1988). An evaluation of the effectiveness of adaptive histogram equalization for contrast enhancement. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 7(4), 304-312.
135. Hicklin, R.A. (2017). *Improving the Rigor of the Latent Print Examination Process*. Ph. D. Thesis, Faculté de Droit, Des Sciences Criminelles, Lausanne, 1-153.
136. Bhoi, N. (2009). *Development of some novel spatial-domain and transform-domain digital image filters*. Ph. D. Thesis, Department of Electronics & Communication Engineering National Institute of Technology, Rourkela, 25-167.
137. Noor, A. (2012). *A new algorithm for minutiae extraction and matching in fingerprint*. Ph. D. Thesis, Brunel University School of Engineering and Design, London, 18-67.
138. O'Gorman, L., Nickerson, J.V. (1989) An approach to fingerprint filter design. *Pattern recognition*, 22(1), 29-38.
139. Saleh, A.M.A.M. (2011). *Enhanced Secure Algorithm for Fingerprint Recognition*. Ph. D. Thesis, Ain Shams University Faculty of Engineering Computer and Systems Engineering Department, Cairo, 4-63.
140. Jain, A.K., Farrokhnia, F. (1991). Unsupervised texture segmentation using Gabor filters. *Pattern Recognition*, 24(12), 1167-1186.
141. Jain, A.K., Feng, J., Nandakumar, K. (2010). Fingerprint matching. *IEEE Computer Society*, 43(2), 36-44.
142. Van Tilborg, H.C., Jajodia, S. (2014). *Encyclopedia of cryptography and security*. New York: Springer, 460-467.
143. Nandakumar, K., Jain. A.K. (2004). *Local Correlation-based Fingerprint Matching*. Fourth Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing, Kolkata, India.
144. Lindoso, A., Entrena, L., Liu-Jimenez, J., Millán, E.S. (2007). *Increasing security with correlation-based fingerprint matching*. 41st Annual IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, Ottawa, ON, Canada, 37-43.
145. Vaidehi, V., Babu, N.T.N, Mervin, A.P., Kumar, S.P., Velmurugan, S., Balamurali, Chandra, G. (2010). *Fingerprint identification using cross correlation of field orientation*. IEEE International Conference on Advanced Computing (ICoAC), Chennai, India, 66-69.
146. Yager, N., Amin, A. (2004). Fingerprint verification based on minutiae features: a review. *Pattern Analysis and Applications*, 7(1), 94-113.
147. Jain, A.K., Prabhakar, S., Hong, L., Pankanti, S. (2000). Filterbank-based fingerprint matching. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(5), 846-859.

148. Yang, J.C., Shin, J.W., Park, D.S. (2006). *Fingerprint matching using invariant moment features*. International Conference on Computational and Information Science, Guangzhou, China, 1029-1038.
149. Ross, A., Jain, A., Reisman, J. (2002). A hybrid fingerprint matcher. *IEEE Object Recognition Supported by User Interaction for Service Robots*, Quebec City, QC, Canada, 795-798.
150. Bishop, C.M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Singapore: Springer, 559-599.
151. Awad, A.I. (2012). Machine learning techniques for fingerprint identification: A short review. *Advanced Machine Learning Technologies and Applications*, Cairo, Egypt, 524-531.
152. Kovacs-Vajna, Z.M. (200). A fingerprint verification system based on triangular matching and dynamic time warping. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11), 1266-1276.
153. Tico, M., Kuosmanen, P. (2003). Fingerprint matching using an orientation-based minutia descriptor. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(8), 1009-1014.
154. Sha, L., Zhao, F., Tang, X. (2003). *Improved fingercode for filterbank-based fingerprint matching*. IEEE International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain, 895-898.
155. Yang, J., Shin, J., Min, B., Park, J., Park, D. (2006). *Fingerprint matching using invariant moment fingercode and learning vector quantization neural network*. IEEE International Conference on Computational Intelligence and Security, Guangzhou, China, 735-738.
156. Lumini, A., Nanni, L. (2006). Two-class fingerprint matcher. *Pattern Recognition*, 39(4), 714-716.
157. Qader, H.A., Ramli, A.R., Al-Haddad, S.A.R. (2004). Fingerprint Recognition Using Zernike Moments. *International Arab Journal of Information Technology*, 4(4), 372-376.
158. Karna, D.K., Agarwal, S., Nikam, S. (2008). *Normalized cross-correlation based fingerprint matching*, IEEE International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation, Penang, Malaysia, 229-232.
159. Benhammadi, F., Amirouche, M.N., Hentous, H., Beghdad, K.B., Aissani, M. (2007). Fingerprint matching from minutiae texture maps, Fingerprint matching from minutiae texture maps. *Pattern recognition*, 40(1), 189-197.
160. Tang, Y., Gao, F., Feng, J., Liu, Y. (2017). *FingerNet: An unified deep network for fingerprint minutiae extraction*. IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB), Denver, CO, USA, 108-116.

161. Darlow, L.N., Rosman, B. (2017). *Fingerprint minutiae extraction using deep learning*. IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB), Denver, CO, USA, 22-30.
162. Schuch, P., Schulz, S.-D., Busch, C. (2017). *Deep expectation for estimation of fingerprint orientation fields*. IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB), Denver, CO, USA, 185-190.
163. Lin, C., Kumar, A. (2018). A CNN-based framework for comparison of contactless to contact-based fingerprints. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14(3), 662-676.
164. Cao, K., Jain, A.K. (2018). Automated latent fingerprint recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 41(4), 788-800.
165. Lin, C., Kumar, A. (2016). *Improving cross sensor interoperability for fingerprint identification*. IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Cancun, Mexico, 943-948.
166. İnternet: The Hong Kong Polytechnic University Contactless 2D to Contact-based 2D Fingerprint Images Database. URL: <http://www4.comp.polyu.edu.hk/~csajaykr/fingerprint.htm>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
167. İnternet: SourceAFIS. URL: <https://sourceafis.machinezoo.com/net>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
168. İnternet: NIST Biometric Image Software (NBIS). URL: <https://www.nist.gov/services-resources/software/nist-biometric-image-software-nbis>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
169. İnternet: VeriFinger. URL: <https://www.neurotechnology.com/verifinger.html>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
170. İnternet: Understanding biometric performance evaluation. URL: <https://precisebiometrics.com/wp-content/uploads/2014/11/White-Paper-Understanding-Biometric-Performance-Evaluation.pdf>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
171. Gültekin, Ö. (2011). Olay yeri incelemesinde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi (TAAD)*, 2(2), 473-508.
172. Yükseloğlu, E.H., Özcan, Ş.Ş., Beyhan, C. (2008). Olay yeri incelemesi ve Türkiye'deki uygulamalar. *Polis Bilimleri Dergisi*, 10(1), 61-80.
173. İnternet: Physical Evidence Part II. Jones & Bartlett Learning. URL: http://samples.jbpub.com/9781284108149/9781284457179_Ch08_SECURE.pdf, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
174. Bleay, S.M., Croxton, R.S., De Puit, M. (2018). *Fingerprint Development Techniques: Theory and Application*. Chichester: John Wiley & Sons, 11-149.

175. Fraser, J., Williams, R. (2009). *Handbook of forensic science*. Devon: Willan, 57-84.
176. Chisum, W.J., Turvey, B.E. (2011). *Crime reconstruction*. USA: Academic Press, 3-211.
177. Hall, H.V. (2007). *Forensic psychology and neuropsychology for criminal and civil cases*. USA: CRC Press, 41-93.
178. Morewitz, S.J., Goldstein, M.L. (2014). *Handbook of forensic sociology and psychology*. New York: Springer 738-749.
179. Kelty, S.F., Julian, R., Robertson, J. (2011). Professionalism in crime scene examination: the seven key attributes of top crime scene examiners. *Forensic Science Policy & Management: An International Journal*, 2(4), 175-186.
180. Leone, M.C., Keel, R. (2016). Occupational stress and the crime scene investigator. *Journal of Law and Criminal Justice*, 4(1), 63-74.
181. İnternet: (2014). Minimum Requirements For Crime Scene Investigation A Document For Emerging Laboratories. *International Forensic Strategic Alliance (IFSA)*, URL: [https://www.asianforensic.net/documents1/IFSA_documents/IFSA%20CSI%20MRD%20\(2014\).pdf](https://www.asianforensic.net/documents1/IFSA_documents/IFSA%20CSI%20MRD%20(2014).pdf), Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
182. Sodhi, G.S., J. Kaur, J. (2001). Powder method for detecting latent fingerprints: a review. *Forensic Science International*, 120(3), 172-176.
183. Bumbrah, G.S. (2016). Small particle reagent (SPR) method for detection of latent fingermarks: A review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 6(4), 328-332.
184. Bumbrah, G.S., Sharma, R.M., Jasuja, O.P. (2016). Emerging latent fingerprint technologies: a review. *Research and Reports in Forensic Medical Science*, 6, 39-50.
185. İnternet: Bleay, S., Sears, V., Downham, R., Bandey, H., Gibson, A., Bowman, V., Fitzgerald, L., Ciuksza, T., Ramadani, J., Selway, C. (2012). Fingerprint source book. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/700212/fingerprint-source-book-v2-second-edition.pdf, Son Erişim Tarihi: 30.03.2021.
186. Marin, N., Buszka, J. (2013). *Alternate light source imaging: forensic photography techniques*, Oxford: Elsevier, 4-99.
187. İnternet: Fritzsche, H., Phillips, M. (2020). Electromagnetic radiation. *Encyclopedia Britannica*, URL: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation>, Son Erişim Tarihi: 30.03.2021.
188. Purcell, E.M., Morin, D.J. (1965). *Electricity and magnetism*. USA: Cambridge University Press, 430-461.
189. L'Annunziata, M.F. (2012). *Handbook of radioactivity analysis*. Oxford: Academic Press, 90-102.

190. Browne, M. (2013). *Schaum's Outline of Physics for Engineering and Science*. USA: McGraw-Hill Education, 343-352.
191. Albani, J.R. (2004). *Structure and dynamics of macromolecules: absorption and fluorescence studies*. Netherland: Elsevier, 55-140.
192. Lakowicz, J. (2006). *Principles of fluorescence spectroscopy*. Singapore: Springer Science & Business Media, 1-94.
193. Guilbault, G.G. (2020). *Practical fluorescence*. Boca Raton: CRC Press, 75-184.
194. Masters, B.R. (2013). Molecular fluorescence: principles and applications. *Journal of Biomedical Optics*, 18(3), 039901-3.
195. Bramble, S.K., Creer, K.E., Qiang, W.G., Sheard, B. (1993). Ultraviolet luminescence from latent fingerprints. *Forensic Science International*, 59(1), 3-14.
196. West, M.H., Barsley, R.E., Frair, J., Hall, F. (1990). Reflective ultraviolet imaging system (RUVIS) and the detection of trace evidence and wounds on human skin. *Journal of Forensic Identification*, 40(5), 249-255.
197. Leich, M., Kiltz, S., Dittmann, J., Vielhauer, C. (2011). Non-destructive forensic latent fingerprint acquisition with chromatic white light sensors. *Media Watermarking, Security, and Forensics III*, 7880, 1-11.
198. Zhang, N., Wang, C., Sun, Z., Li, Z., Xie, L., Yan, Y., Xu, L., Guo, J., Huang, W., Li, Z., Xue, J., Liu, H., Xu, X. (2018). Detection of latent fingerprint hidden beneath adhesive tape by optical coherence tomography. *Forensic Science International*, 287, 81-87.
199. Lin, S.S., Yemelyanov, K.M., Pugh, E.N., Engheta, N. (2006). Polarization-and specular-reflection-based, non-contact latent fingerprint imaging and lifting. *Journal of the Optical Society of America A*, 23(9), 2137-2153.
200. Jankow, M., Hildebrandt, M., Sturm, J., Kiltz, S., Vielhauer, C. (2012). Performance analysis of digital cameras versus chromatic white light (CWL) sensors for the localization of latent fingerprints in crime scenes. *Optics, Photonics, and Digital Technologies for Multimedia Applications II*, 8436, 1-15.
201. Merkel, R., Gruhn, S., Dittmann, J., Vielhauer, C., Bräutigam, A. (2012). On non-invasive 2D and 3D Chromatic White Light image sensors for age determination of latent fingerprints. *Forensic Science International*, 222(1-3), 52-70.
202. Nakamura, A., Okuda, H., Nagaoka, T., Akiba, N., Kurosawa, K., Kuroki, K., Ichikawa, F., Torao, A., Sota, T. (2015). Portable hyperspectral imager with continuous wave green laser for identification and detection of untreated latent fingerprints on walls. *Forensic Science International*, 254, 100-105.

203. Dubey, S.K., Mehta, D.S., Anand, A., Shakher, C. (2008). Simultaneous topography and tomography of latent fingerprints using full-field swept-source optical coherence tomography. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 10(1), 1-8.
204. Kuivalainen, K., Peiponen, K.E., Myller, K. (2009). Application of a diffractive element-based sensor for detection of latent fingerprints from a curved smooth surface. *Measurement Science and Technology*, 20(7), 1-3.
205. İnternet: Eviscan. URL: <https://www.eviscan.com/en/>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
206. Chen, H., Ma, R.L., Fan, Z., Chen, Y., Wang, Z., Fan, L.J. (2018). Fluorescence development of fingerprints by combining conjugated polymer nanoparticles with cyanoacrylate fuming. *Journal of Colloid and Interface Science*, 528, 200-207.
207. King, R.S., Hallett, P.M., Foster, D. (2015). Seeing into the infrared: A novel IR fluorescent fingerprint powder. *Forensic Science International*, 249, 21-26.
208. Blitzer, H., Stein-Ferguson, K., Huang, J. (2010). *Understanding forensic digital imaging*. China: Academic Press, 155-169.
209. Liban, A., Hilles, S.M. (2018). *Latent Fingerprint Enhancement Based On Directional Total Variation Model With Lost Minutiae Reconstruction*. IEEE International Conference on Smart Computing and Electronic Enterprise (ICSCEE), Shah Alam, Malaysia, 1-5.
210. Feng, J., Zhou, J., Jain, A.K. (2012). Orientation field estimation for latent fingerprint enhancement. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(4), 925-940.
211. Yang, X., Feng, J., Zhou, J. (2014). Localized dictionaries based orientation field estimation for latent fingerprints. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 36(5), 955-969.
212. Oliveira, M.A., Leite, N.J. (2008). A multiscale directional operator and morphological tools for reconnecting broken ridges in fingerprint images. *Pattern Recognition*, 41(1), 367-377.
213. Bazen, A.M., Gerez, S.H. (2002). Systematic methods for the computation of the directional fields and singular points of fingerprints. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), 905-919.
214. Zhang, J., Lai, R., Kuo, C.C.J. (2012). *Latent fingerprint segmentation with adaptive total variation model*. IEEE 5th IAPR International Conference on Biometrics (ICB), New Delhi, India, 189-195.
215. Zhang, J., Lai, R., Kuo, C.C.J. (2013). Adaptive directional total-variation model for latent fingerprint segmentation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 8(8), 1261-1273.

216. Liu, S., Liu, M., Yang, Z. (2017). Sparse coding based orientation estimation for latent fingerprints. *Pattern Recognition*, 67, 164-176.
217. Li, J., Feng, J., Kuo, C.C.J. (2018). Deep convolutional neural network for latent fingerprint enhancement. *Signal Processing: Image Communication*, 60, 52-63.
218. Yoon, S., Feng, J., Jain, A.K. (2011). *Latent fingerprint enhancement via robust orientation field estimation*. IEEE International Joint Conference on Biometrics (IJCB), Washington, DC, USA, 1-8.
219. Huang, X., Qian, P., Liu, M. (2020). *Latent Fingerprint Image Enhancement Based on Progressive Generative Adversarial Network*. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Seattle, WA, USA, 3481-3489.
220. Rao, R., Rao, K. (2016). An Average Based Orientation Field Estimation Method for Latent Fingerprint Matching. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(12), 707-712.
221. Manickam, A., Devarasan, E., Manogaran, G., Priyan, M.K., Varatharajan, R., Hsu, C.H., Krishnamoorthi, R. (2019). Score level based latent fingerprint enhancement and matching using SIFT feature. *Multimedia Tools and Applications*, 78(3), 3065-3085.
222. Deshpande, U.U., Malemath, V.S., Patil, S.M., Chaugule, S.V. (2020). End-to-end automated latent fingerprint identification with improved DCNN-FFT enhancement. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, 166.
223. Liu, M., Chen, X., Wang, X. (2014). Latent fingerprint enhancement via multi-scale patch based sparse representation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(1), 6-15.
224. Liu, M., Qian, P. (2020). Automatic Segmentation and Enhancement of Latent Fingerprints Using Deep Nested UNets. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 16, 1709-1719.
225. Qian, P., Li, A., Liu, M. (2019). *Latent fingerprint enhancement based on DenseUNet*. IEEE International Conference on Biometrics (ICB), Crete, Greece, 1-6.
226. Cao, K., Liu, E., Jain, A.K. (2014). Segmentation and enhancement of latent fingerprints: A coarse to fine ridgestructure dictionary. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 36(9), 1847-1859.
227. Xu, M., Feng, J., Lu, J., Zhou, J. (2017). *Latent fingerprint enhancement using Gabor and minutia dictionaries*. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Beijing, China, 3540-3544.
228. Cao, K., Jain, A.K. (2015). *Latent orientation field estimation via convolutional neural network*. IEEE International Conference on Biometrics (ICB), Phuket, Thailand, 349-356.

229. Srisutheenon, K., Phromsuthirak, K., Areekul, V. (2019). *Semi-automatic progressive enhancement for latent fingerprints*. International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention (ICDP-2019), London, UK, 62-67.
230. Jain, A.K., Feng, J., Nagar, A. (2008). *On matching latent fingerprints*. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Anchorage, AK, USA, 1-8.
231. Cao, K., Nguyen, D.L., Tymoszek, C., Jain, A.K. (2019). End-to-end latent fingerprint search. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 15, 880-894.
232. Jain, A.K., Feng, J. (2010). Latent fingerprint matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33(1), 88-100.
233. Lin, S.S., Yemelyanov, K.M., Pugh, E.N., Engheta, N. (2006). Polarization-based and specular-reflection-based noncontact latent fingerprint imaging and lifting, *Journal of the Optical Society of America A*, 23(9), 2137-2153.
234. Fischer, R., Vielhauer, C. (2013). *Non-invasive, optical latent fingerprint acquisition from cartridge casings: A first feasibility study using a laser-scanning confocal microscope*. IEEE 18th International Conference on Digital Signal Processing (DSP), Fira, Greece, 1-6.
235. Wani, M.A., Bhat, F.A., Afzal, S., Khan, A.I. (2020). *Advances in Deep Learning*. Springer: Singapore, 111-132.
236. Ferreira, P. M., Sequeira, A.F., Cardoso, J.S., Rebelo, A. (2018). *Robust clustering-based segmentation methods for fingerprint recognition*. IEEE International Conference of the Biometrics Special Interest Group (BIOSIG), Darmstadt, Germany, 1-5.
237. Cherrat, E.M., Alaoui, R., Bouzahir, H. (2019). *Improving of fingerprint segmentation images based on K-means and DBSCAN clustering*. International Journal of Electrical & Computer Engineering, 9(4), 2425-2432.
238. Arshad, I., Raja, G., Khan, A.K. (2014). Latent fingerprints segmentation: Feasibility of using clustering-based automated approach. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(11), 7933-7944.
239. Choi, H., Boaventura, M., Boaventura, I.A.G., Jain, A.K. (2012). *Automatic segmentation of latent fingerprints*. IEEE Fifth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS), Arlington, VA, USA, 303-310.
240. Karimi-Ashtiani, S., Kuo, C.C.J. (2008). *A robust technique for latent fingerprint image segmentation and enhancement*. IEEE 15th International Conference on Image Processing, San Diego, CA, USA, 1492-1595.

241. Short, N.J., Hsiao, M.S., Abbott, A.L., Fox, E.A. (2011). Latent fingerprint segmentation using ridge template correlation. *IEEE 4th International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention (ICDP)*, London, England, 1-6.
242. Ruangsakul, P., Areekul, V., Phromsuthirak, K., Rungchokanun, A. (2015). *Latent fingerprints segmentation based on rearranged fourier subbands*. IEEE International Conference on Biometrics (ICB), Phuket, Thailand, 371-378.
243. Liu, S., Liu, M., Yang, Z. (2016). *Latent fingerprint segmentation based on linear density*. IEEE International Conference on Biometrics (ICB), Halmstad, Sweden, 1-6.
244. Zhu, Y., Yin, X., Jia, X., Hu, J. (2017). Latent fingerprint segmentation based on convolutional neural networks. *IEEE Workshop on Information Forensics and Security (WIFS)*, Rennes, France, 1-6.
245. Ezeobijesi, J., Bhanu, B. (2017). Latent fingerprint image segmentation using deep neural network. In Bhanu, B., Kumar, A. (Eds.), *Deep Learning for Biometrics*. Switzerland: Springer, 83-107.
246. İnternet: Nguyen, D.L., Cao, K., Jain, A.K. (2018). Automatic latent fingerprint segmentation. URL: <https://arxiv.org/pdf/1804.09650.pdf>, Son Erişim Tarihi: 30.03.2021.
247. Bazen, A.M. (2002). *Fingerprint Identification: Feature Extraction, Matching, and Database Search*. Ph. D. Thesis, Twente University, Netherlands, 43-114.
248. Cubuk, M.C, Saygi, S.A. A rising value in evidence detection: Ultraviolet light. *Forensic Science International*, 136.
249. Menzel, E., Duff, J. (1979). Laser detection of latent fingerprints-treatment with fluorescers. *Journal of Forensic Science*, 24(1), 96-100.
250. Menzel, E.R, Burt, J.A., Lubbock, T.X., Jordan, K.J., Lubbock, T.X., Sinor, T.W. (1983). Laser detection of latent fingerprints: treatment with glue containing cyanoacrylate ester. *Journal of Forensic Science*, 28(2), 307-317.
251. Menzel, E. (1979). Laser detection of latent fingerprints-treatment with phosphorescers. *Journal of Forensic Science*, 24(3), 582-585.
252. Menzel, E., Fox, K. (1980). Laser detection of latent fingerprints: preparation of fluorescent dusting powders and the feasibility of a portable system. *Journal of Forensic Science*, 25(1), 150-153.
253. Connell, J.H., Ratha, N.K., Bolle, R.M. (2002). *Fingerprint image enhancement using weak models*. IEEE International Conference on Image Processing, Rochester, NY, USA, 45-48.
254. Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level h-istograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.

255. Rao, A.R. (1990). *A taxonomy for texture description and identification*. USA: Springer-Verlag-New York, 28-31.
256. İnternet: Prabhu, R., Yu, X., Wang, Z., Liu, D., Anxiao Jiang, A. (2019). U-finger: Multi-scale dilated convolutional network for fingerprint image denoising and inpainting, in *Inpainting and Denoising Challenges*. URL: <https://arxiv.org/abs/1807.10993>, Son Erişim Tarihi: 30.03.2021.
257. İnternet: Krish, R.P., Fierrez, J., Ramos, D., Alonso-Fernandez, F., Bigun, J. (2019). Improving automated latent fingerprint identification using extended minutia types. URL: <https://arxiv.org/abs/1810.09801>, Son Erişim Tarihi: 30.03.2021.
258. Meagher, S., Dvornychenko, V., Garriss, M. (2014). Characterization of Latent Print "Lights-Out" Modes for Automated Fingerprint Identification Systems. *Journal of Forensic Identification*, 64(3).
259. Krishnamoorthy, R.P. (2015). *Fingerprint recognition for forensic applications*, Ph. D. Thesis, Universidad Autonoma de Madrid, Spain, 5-103.
260. İnternet: Jain, A.K. (2010). Automatic Fingerprint Matching Using Extended Feature Set. *US Department of Justice*, URL: <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/grants/227931.pdf>, Son Erişim Tarihi: 30.03.2021.
261. Ratha, N., Bolle, R. (2003). *Automatic fingerprint recognition systems*. USA: Springer-Verlag-New York, 2-246.



EK-1. Malfis için patent başvuru belgesi

 TÜRK PATENT VE MARKA KURUMU Elektronik Başvuru Sistemi			
PATENT BAŞVURUSU			
Tahakkuk No	547271	Başvuru Numarası	2020/18233
Evrak Numarası	2020-GE-597880	Evrak Tarihi	2020-11-13 21:55:34
Erken Yayın Talebi	Hayır, başvurum 18 aylık süre dolduktan sonra yayımlansın.	Başvuru ile Birlikte Araştırma/İnceleme Talebi	Araştırma
Tarifname Dili	Türkçe	Genetik Kaynak	Hayır
Tarifname Sayfa Sayısı	24	Kaynağın / Bilginin Coğrafi Kökeni	-
İstem Sayısı	10	Kamu Desteği	Hayır
Resim Sayfa Sayısı	3	Destek Sağlayan Kamu Kurumu	-
Patent Yarışmasına Katılmak İstiyorum	Hayır	Proje Numarası	-
Patent Sınıfı	-		
Referans No	19965-1		
BULUŞ BAŞLIĞI / ÖZETİ			
Buluş Başlığı	Mobil otomatik görünmez parmak izi tanıma sistemi ve yöntemi.		
Buluş Özeti	Buluş, parmak izinin bir alan uzmanı tarafından fiziksel ve kimyasal geliştirme işlemi yapılmadan toplanması, iyileştirilmesi, son olarak bu verinin kimlik tespiti için kullanılması basamaklarının tek bir merkezden yönetilebilmesini sağlayan mobil otomatik görünmez parmak izi tanıma sistemi ve yöntemi ile ilgilidir. Buluş özellikle uzmanlık alan bilgisi gerektiren görüntü geliştirme adımlarına gerek duymadan ve görünmez parmak izinde bulunan biyolojik veriler bozulmadan veri toplama ve geliştirme işlemini gerçekleştiren, taşınabilir biyometrik doğrulama/onyetleme imkânı sağlayan, görünmez parmak izinin toplandığı olay yer vb. ortamda sebep-sonuç ilişkisinin kurulmasını sağlayan mobil otomatik görünmez parmak izi tanıma sistemi ve yöntemi ile ilgilidir.		
BAŞVURU SAHİPLERİ			
Ad Soyad/Unvan	ŞEREF SAĞIROĞLU		
TC Kimlik/Vergi No	■■■■■■■■■■	Şahip Türü	Gerçek
Uyruk	TÜRKİYE	Başvuru Hak Oranı	
Telefon	■■■■■■■■■■	E-Posta	■■■■■■■■■■
Adres	GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ MALTEPE 06570 ÇANKAYA ANKARA TÜRKİYE		
Ad Soyad/Unvan	BİLGEHAN ARSLAN		
TC Kimlik/Vergi No	■■■■■■■■■■	Şahip Türü	-
Uyruk	TÜRKİYE	Başvuru Hak Oranı	-
Telefon	■■■■■■■■■■	E-Posta	■■■■■■■■■■
Adres	GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ MALTEPE 06570 ÇANKAYA ANKARA TÜRKİYE		
BULUŞ SAHİPLERİ			
Ad Soyad/Unvan	ŞEREF SAĞIROĞLU		
TC Kimlik/Vergi No	■■■■■■■■■■	Gizlilik Beyanı	
Uyruk	TÜRKİYE	Başvuru Hakkı Beyanı	-
Telefon	■■■■■■■■■■	E-Posta	■■■■■■■■■■
Adres	GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ MALTEPE 06570 ÇANKAYA ANKARA TÜRKİYE		
Ad Soyad/Unvan	BİLGEHAN ARSLAN		
TC Kimlik/Vergi No	■■■■■■■■■■	Gizlilik Beyanı	
Uyruk	TÜRKİYE	Başvuru Hakkı Beyanı	-
Telefon	■■■■■■■■■■	E-Posta	■■■■■■■■■■
Adres	GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ MALTEPE 06570 ÇANKAYA ANKARA TÜRKİYE		
VEKİL BİLGİSİ			
Unvan	GRUP OFİS MARKA PATENT A.Ş.		
Vergi Numarası	4110411347		



ĞAZİ GELECEKTİR..