TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZ BASIM VE ÇEVRİLEREK ALINAN PARMAK İZLERİNİN OTOMATİK PARMAK İZİ TESPİT SİSTEMİ (OPTES)'NDE TESPİT PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Özcan YILDIZ

DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof.Dr. Aslıhan GÜRBÜZ

ANKARA
2020

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZ BASIM VE ÇEVRİLEREK ALINAN PARMAK İZLERİNİN OTOMATİK PARMAK İZİ TESPİT SİSTEMİ (OPTES)'NDE TESPİT PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Özcan YILDIZ

DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof.Dr. Aslıhan GÜRBÜZ

ANKARA
2020

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum "*Düz Basım ve Çevrilerek Alınan Parmak İzlerinin Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemi (OPTES)'nde Tespit Performanslarının Karşılaştırılması*" başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Özcan YILDIZ

Tarih:

İmza:

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
İçindekiler	iii
Önsöz	iv
Simgeler ve Kısaltmalar	v
Çizelgeler	vi
Şekiller	vii
1.GİRİŞ	**1**
1.1. Parmak İzi Veritabanlarının Tarihçesi	1
1.2. Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemleri (OPTES)	3
1.3. Suç Soruşturması ve Parmak İzi Veritabanları	5
1.4. Parmak İzi Sistemlerinin İdari Amaçlarla Kullanımı	7
1.5. Ulusal Entegre OPTES	8
1.6. Parmak İzi Sistemlerinin Teknik Olarak Kullanımı	8
1.6.1. Kişilerden Alınan Parmak İzleri	9
1.6.2. Olay Yeri Parmak İzleri	11
1.7. OPTES'te Sorgu ve Tespit	11
1.8. Çalışmanın Amacı	12
2. GEREÇ ve YÖNTEM	**14**
2.1. Parmak İzlerinin Alınması ve Çalışmaya Dahil Edilmesi	14
2.2. Olay Yeri İzlerinin Oluşturulması	16
2.3. Olay Yeri İzlerinin Sorgulanması	18
3. BULGULAR	**21**
3.1. Sorgu Sonucu İstatistikleri	21
3.2. Parmak İzi Bölgelerine Göre FH, SSH, NH, OSH, NHOLH Tespitleri	26
3.3. Parmak İzi Bölgelerine Göre İrtibat ve İrtibat Bileşen Hesaplamaları	31
4. TARTIŞMA	**32**
4.1. OPTES Sorgu Performansının Artırılması Amaçlı Çalışmalar	32
4.1.1. Yazılım Performansını Geliştirme Çalışmaları	32
4.1.2. Olay Yeri İzlerinin Tespit Performansının İyileştirilmesi Çalışmaları	33
4.1.3. Donanım Teknolojileri Optimizasyon Çalışmaları	35
4.2. Yapılan Çalışmanın Benzer Nitelikli Çalışmalarla Kıyaslanması	36
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	**39**
ÖZET	41
SUMMARY	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	50

ÖNSÖZ

Jandarma ve Emniyet teşkilatları tarafından kullanılan ve suç soruşturmalarında önemli bir yeri bulunan OPTES'in sorgu başarı performansını artırmak amacıyla dünya çapında yapılmış çok sayıda çalışma bulunmakta iken ülkemizde bu yönde yapılan çalışmaların azlığı beni bu alanda akademik bir çalışma yapmaya yönlendirmiştir. Yaptığım çalışmanın, kapsamı ve ulaşılan sonuçları itibariyle, ülkemizde yüksek tecrübe seviyesine ulaşmış parmak izi uzmanlarına, eğitimleri devam eden parmak izi uzman yardımcılarına ve adli bilimler alanında önümüzdeki dönemde benzer çalışmaları yapacak akademik personele bu alanda yapılabilecek diğer çalışmalar açısından örnek teşkil etmesini temenni ediyorum.

Kriminalistik Doktora Eğitimim boyunca Ankara Üniversitesi Adli Bilimler Enstitüsü bünyesinde ve diğer akademik birimlerde görevli sayın hocalarıma gerek alan dersleri gerekse tez çalışmam kapsamında verdikleri destekten, ayrıca tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Aslıhan GÜRBÜZ hocama tüm aşamalarda katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bunun yanında; çalışmanın yapılmasında kurum teknik imkanlarının kullanılmasındaki desteği bakımından Jandarma Kriminal Daire Başkanı Sayın Jandarma Albay Mustafa MERCAN'a, Parmak İzi Şube Müdürlüğü ve Kriminal Daire Başkanlığı personeline, gönüllü olarak parmak izlerinin çalışmada kullanılmasına izin veren tüm katılımcılara ve elbette eğitim ve tez çalışma sürecinde desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Sevgi YILDIZ ile kızlarım Zeynep ve İpek'e teşekkür ederim.

SİMGELER VE KISALTMALAR

FH	Full Hit
NH	Non-Hit
NH-OLH	Non-Hit But Other Latent Hit
OPTES	Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemi
OSH	Other Source Hit
OY	Olay Yeri (izi)
SSH	Self Source Hit

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Çevrim ve düzbasım izlerin karakteristik sayıları ve kalite değerleri 14
Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılan izlerin parmaklara göre dağılımı 16
Çizelge 2.3. Çalışmada kullanılamayan izlerin parmaklara göre dağılımı 16
Çizelge 2.4. Olay yeri izlerinin parmak izi bölgelerine göre dağılım sayısı 18
Çizelge 3.1. Çevrim merkez bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 21
Çizelge 3.2. Düz basım merkez bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 22
Çizelge 3.3. Çevrim delta bölgesi olay yeri izi sorgu sonuçları 22
Çizelge 3.4. Düz basım delta bölgesi olay yeri izi sorgu sonuçları 23
Çizelge 3.5. Çevrim üst bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 23
Çizelge 3.6. Düz basım üst bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 24
Çizelge 3.7. Çevrim yan bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 24
Çizelge 3.8. Düz basım yan bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 25
Çizelge 3.9. Çevrim alt bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 25
Çizelge 3.10. Düz basım alt bölge olay yeri izi sorgu sonuçları 26
Çizelge 3.11. Parmak izi bölgelerine göre irtibat yüzdeleri 31

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Parmak izi alım teknikleri 10
Şekil 1.2. Çevrim ve düz basım parmak izleri 10
Şekil 2.1. Çalışmaya dahil edilen parmak izi örneği 15
Şekil 2.2. Çalışma için yetersiz parmak izi örneği 15
Şekil 2.3. Olay yeri izi kodlama ekranında yapılan işlemler 16
Şekil 2.4. On parmak izinden olay yeri izi oluşturulması (merkez bölge) 17
Şekil 2.5. On parmak izinden olay yeri izi oluşturulması (delta bölgesi) 17
Şekil 2.6. Olay yeri izinin kendi kaynak izi ile irtibatı (SSH) 19
Şekil 2.7. Olay yeri izinin diğer kaynak izi ile irtibatı (OSH) 19
Şekil 2.8. OPTES sorgu sonucu aday listesi 20
Şekil 3.1. İrtibat durumları karşılaştırma tablosu 26
Şekil 3.2. Bölgelere göre FH tespit yüzdeleri 27
Şekil 3.3. Bölgelere göre SSH tespit yüzdeleri 28
Şekil 3.4. Bölgelere göre NH tespit yüzdeleri 29
Şekil 3.5. Bölgelere göre OSH tespit yüzdeleri 29
Şekil 3.6. Bölgelere göre NHOLH tespit yüzdeleri 30

1. GİRİŞ

Parmak izleri, suç soruşturmasında ve adli olayların aydınlatılmasında kullanılan temel biyometrik verilerden birisi olarak kabul edilmektedir (Pankanti ve ark., 2002). Teknik olarak birbiri ile aynı olmayan ve cenin 10 ile 18 aylıkken oluşmaya başlayan parmak izleri (Oktem ve ark., 2015) zamana bağlı olarak değişim göstermez. Bu özellikler sayesinde birçok adli olayda parmak izleri, suç delili ile kişi bağlantısının doğrudan kurulmasına yardımcı olmaktadır. Bu niteliği bakımından parmak izleri, günümüzde de adli makamların ve suç soruşturmasında görev alan kişilerin özellikle olay yeri incelemesinde ilk aşamada dikkate aldıkları delil türleri arasında yer almaktadır.

Parmak izleri, avuç izleri ve bunlarla birlikte saklanan diğer veriler, kişisel verilerdir. Bu verilerin alınması, saklanması ve amaca uygun olarak (adli veya idari) kullanılması belirli kurallara tabi olmak zorundadır. Günümüz evrensel insan hak ve hürriyetleri anlayışı ile çağdaş hukuk sistemlerinin işleyiş ilkeleri, bu konunun hassasiyetle ele alınmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte suç ve suçluyla mücadelede adalet mekanizmasının doğru ve hızlı biçimde işletilmesi, yine aynı kapsamda değerlendirilmekte ve suçun işlenmesi ile ortaya çıkan mağduriyetlerin giderilmesi de önemli bir kriter olarak ele alınmaktadır. Burada, suçla oluşan gerek kişisel gerekse kamusal zararların giderilmesi ve bozulan toplum düzeninin yeniden tesis edilmesi temel bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır. İşte bu noktada en hızlı ve en güvenilir suçla mücadele yöntemlerinden birisi olan Parmak İzi Veritabanlarının kullanımı ile hedeflenen doğrultuda kazanımlar sağlanabilmektedir.

1.1. Parmak İzi Veritabanlarının Tarihçesi

Tarihin ilk dönemlerinden itibaren çeşitli toplumlar parmak izinin yapısal ve karakteristiksel olarak farkına varmışlardır. Babil, Eski Mısır ve Antik Yunan döneminde yaşayan insanların parmak izlerinin, ürettikleri toprak eşyalar üzerinde kasıtsız olarak kaldığı veya meydana getirdikleri sanat eserlerine yapanın imzası olması anlamında parmak izlerini bastıkları ve bu şekilde eserle yapan kişi arasında aidiyet kurdukları bilinmektedir. Daha sonraki dönemlerde ise Çinliler, Persliler ve

Araplar tarafından özellikle ticari anlaşmalarda taraflar, parmak izlerini mühür üzerine basarak anlaşmayı tasdik yoluna gitmişlerdir. Bunun yanında tarihte parmak izinin, devletlerin bazı işlemlerinde düzenlenen belgelere resmiyet kazandırmak amacıyla ve yine bazı adli konularda ve suçlularla ilgili işlemlerde kullanıldığına dair örnekler bulunmaktadır (Barnes, 2014).

İnsanların parmak izlerinin birbirinden farklı olduğu ve parmak izlerinin bu yönüyle ayırt edici nitelikte olduğunun anlaşılması 13. yüzyıla kadar dayanır. 17 ve 18'nci yüzyıllarda Avrupa'da çeşitli çalışma ve yayınlarda, parmak izinin anatomisi ve kişiye has yapısı hakkında tespit ve değerlendirmeler yer almıştır (Barnes, 2014).

Parmak izi 19. yüzyılda birçok bilim insanı tarafından ele alınmış, parmak izlerinin tüm kişilerde farklı karakteristik özellikler göstermesi ile kişinin yaşamı boyunca yapısını değiştirmeksizin muhafaza etmesi olarak bilinen temel özellikleri ortaya konulmuştur. Bu temel özellikleri sayesinde parmak izleri, insan kimliğinin kendine has bir özelliği olarak kabul edilmeye başlanmıştır. Bunun yanında, parmak izi kullanım alanlarının belirginleşmeye başlaması, temel parmak izi faaliyetleri olan "kişilerden parmak izi alımı, alınan parmak izlerinin gruplandırılması, parmak izlerinin görünür hale getirilmesi" gibi konularda çalışmaların başladığı dönem yine 19. yüzyıl olmuştur.

1879 yılında, Fransız bir polis şefi ve aynı zamanda bir biyometrik araştırmacı olan Alphonso BERTILLON, suçluların genel fiziksel ve antropometrik özelliklerine göre tasnif edilmesi amacıyla geliştirdiği sistem ile kişilerin biyometrik ölçülere dayalı olarak sınıflandırılması ve kayıt altına alınmasını gündeme getirmiştir. Bertillon'un geliştirdiği sistem genel olarak, suçlu eşgal bilgilerinin ve parmak izlerinin birlikte saklandığı bir sistemdir ve biyometrik veritabanlarının ilk versiyonu olarak kabul edilmektedir (Rhodes, 1956).

1880 yılında İskoçyalı cerrah Henry FAULDS, parmak izlerinin kimlik tespitinde kullanılabileceğine dair ilk bilimsel makaleyi (Faulds, 1880) Nature Dergisi'nde kaleme almıştır. 1892'de FAULDS'un düşüncelerinden de esinlenen İngiliz istatistikçi ve antropolog Francis GALTON, bugün kendi adıyla da anılan minuşyaları (Galton's Details) tanımlayarak, minuşyaların şekil, sayı ve yerleşimleri

bakımından her parmak izinde birbirinden farklı olduğunu ortaya koymuştur. Buna bağlı olarak, tüm insanların parmak izlerinin birbirinden farklı olduğu tezi ortaya atılmış ve yapılan çalışmalarla iki parmak izinin aynı olma olasılığı 1/64.000.000.000 (altmış dört milyarda bir) ihtimal olarak hesaplanmıştır (Radick, 2002).

Parmak izlerinin bir diğer özelliği ise papil (parmak izini oluşturan çıkıntı şeklindeki hatlar) yapılarına göre gruplandırılabilmeleri, buna bağlı olarak da ana ve alt grup özelliklerine göre tasnif edilebilmesidir. Bu özellik, 1901 yılında, İngiliz polis komiseri olan Edward HENRY tarafından bulunarak geliştirilmiştir (Herschel, 1916; Polson, 1951). Henry'nin çalışmaları sonucu parmak izlerinin tasnif edilebilme özelliği "Henry Sınıflandırma Sistemi" olarak adlandırılmış ve gelişmiş parmak izi sistemlerinin eski versiyonu sayılabilecek Manuel Parmak İzi Arşivleri oluşturulmuştur.

Bu arşivlerde parmak izleri öncelikle, eğimli (lasso), döngülü (wirbel) ve ark (arch) olarak ana gruplarına ayrılmıştır. Daha sonra izler ana gruba ait alt gruplarına göre ikinci bir tasnife gidilmiştir. Burada amaç, arşivde bulunan çok sayıdaki izin, arşivden araştırılacak aday iz ile tek tek karşılaştırılması yerine sahip olduğu grup ve alt grup özelliklerine göre sınırlı sayıda iz ile karşılaştırılarak zamandan tasarruf sağlamaktır.

Uzun yıllar boyunca kullanılan Henry Sınıflandırma Sistemine göre düzenlenen ve az sayıda parmak izinden oluşan arşivlerde bile insan gücüyle yapılan parmak izi eşleştirme çalışmalarının, yoğun ve dikkat gerektiren bir faaliyet olduğu, insan hatasına açık olduğu, uzun zaman ve emek gerektirdiği tartışılmaz bir gerçektir (Lerner ve Lerner, 2006).

1.2. Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemleri (OPTES)

Parmak izleri ve avuç izlerinin özelliklerinin kodlanarak kaydedilmesi, saklanması ve sorgulanması amacıyla oluşturulmuş bilgisayar tabanlı sistemlerdir. Başlangıçta OPTES algoritmaları, parmak izi tasnif ve gruplama prensiplerinden yola çıkarak, parmak izi sorgulama işlemlerinin elektronik ortamda yapılması amacıyla oluşturulmuştur (Moses, 2014). Daha sonra geliştirilen ve giderek kapsamlı

hale gelen yazılımlar tarafından yapılan sorgu işlemlerinde; parmak izi yönü ve açısı, papil akışları, parmak izi karakteristikleri ile bunların yerleşimleri ile karakteristikler arası yerleşim kombinasyonları gibi parametreler kullanılmaya başlanmıştır (Hu ve ark., 2010). Bilgisayar sistemlerinin devreye girmesinden sonra, parmak izlerinin sorgu işlemleri için harcanan zaman haftalar ve aylardan birkaç dakikaya kadar düşürülmüştür (Lerner ve Lerner, 2006). OPTES teknolojisi bu katkısı sayesinde, adli bilimler alanına getirdiği büyük yeniliğin yanında, aynı alanda önemli bir rol de oynamaya başlamıştır (Jain ve ark., 1997).

OPTES'in yıllar içerisindeki gelişim sürecinde;

- 1960'lı yıllardan itibaren Amerikan Polis Teşkilatı (Federal Bureau of Investigation-FBI), İngiliz İçişleri Bakanlığı (Home Office) Adli Bilimler Birimi ile Fransız ve Japon Polis Teşkilatları, belirtilen ülkelerdeki bazı yazılım şirketleri ile birlikte, parmak izlerinin elektronik bir sistemde saklanması ve yine bu sistem yardımıyla sorgulanması amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır (Moses, 2014).

- 1980 ve 1990'lı yıllar, bilgisayar tabanlı parmak izi veritabanı üzerinde kodlama ve sorgu işlemlerinin geliştirilmesi, ticari amaçla üretilen OPTES yazılımlarının piyasaya sürülmesi ile kaynak veritabanından sorgu işlemlerinin daha hızlı ve pratik hale getirilmesi amacıyla yapılan çalışmalara sahne olmuştur (Moses, 2014).

- 1996-1998 yılları arasında ülkemizde kolluk birimleri kendi bünyelerinde parmak izi sistemleri teşkil ederek OPTES teknolojisini kullanmaya başlamıştır.

- 2000'li yıllardan itibaren artık OPTES yazılımları dünya çapında kullanılmaya başlamış ve kullanımda bugün de halen uygulanan uluslararası standartlar belirlenmiştir. Bunun sonucunda, büyük çapta ulusal parmak izi veritabanları oluşmuş ve kullanım yaygınlaşmıştır.

- Devam eden dönemde, sorgu-tespit oranlarının yükseltilmesi ve tespit için harcanan zamanın azaltılması amacıyla araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmış ve yapılan çalışmalar günümüzde de artan bir hızla devam etmektedir.

Parmak izi incelemelerinde, oldukça zaman alan, karmaşık ve zor bir faaliyet olan olay yeri izi ile kişi izinin birebir mukayesesi işlemleri, OPTES teknolojilerinin gelişimi ile birlikte büyük oranda parmak izinin kayıtlı veriler arasından sorgulanması işlemlerine dönüşmüştür. Bu dönüşümle birlikte parmak izi alanında büyük hacimli veritabanları oluşmuştur. Milyonlarca veriden oluşan veri tabanlarından sorgu ve tespit yapılması ihtiyacı ise kapsamlı sorgu yazılımlarının geliştirilmesini gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Yazılım ve algoritmalar geliştirilirken, sistemlerin sorgu hızının ve sorgu sonucu ulaşılan tespitin doğruluk performanslarının en üst düzeye çıkarılması amaçlanmıştır (Peralta ve ark., 2016).

Parmak izlerinde yapısal olarak üç seviye detay mevcuttur (Maltoni ve ark., 2009; Ashbaugh, 1999 ve Feng ve Jain, 2011):

Birinci Seviye Detaylar: Parmak izi grupları ve alt grupları

İkinci Seviye Detaylar: Parmak izi karakteristikleri (minuşyalar)

Üçüncü Seviye Detaylar: Papil yapısı, genişliği, kalıp bölgesi ile porlar ve kırıklar gibi detaylar

Parmak izi sorgu ve tespit sistemleri genel olarak ikinci seviye detayların kullanımı prensibine dayanır (Jiang ve Yau, 2000; Cappelli ve ark., 2010; Deng ve Huo, 2005 ve Chen ve ark., 2006). Bunun sebebi birinci seviye detayların sorgu ve tespit için yetersizliği ve parmak izlerinin çoğunun üçüncü seviye detaylara sahip kalitede olmamasıdır (Peralta ve ark., 2014). Bununla birlikte halen, tespit edilebilen diğer seviye detaylara ilave olarak, üçüncü seviye detayların da parmak izi sorgu ve tespit sistemlerinde kullanılarak başarının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Vatsa ve ark., 2009).

1.3. Suç Soruşturması ve Parmak İzi Veritabanları

Parmak izi (genel yapısı itibariyle aynı zamanda avuç izi) veritabanları günümüzde, dünya çapında neredeyse tüm ülkelerde çeşitli amaçlarla kurulmuş ve işletilmektedir. Kurulu bulunan veritabanlarının bir kısmı, belirli nitelikteki suçları işlemiş olan veya suç şüphesi altında bulunan kişilerin parmak izlerinin saklandığı

adli amaçlı veritabanlarıdır. Adli amaçlı olarak kimlerin parmak izlerinin alınarak saklanacağı ve bu verilerin kullanım koşullarının, ilgili ülkenin yasal mevzuatında tanımlanmış olması gerekmektedir. Bazı ülkelerde temel kural ihlallerinde (trafik cezaları vb.) bile kişilerin parmak izleri ve diğer kişisel verileri alınarak saklanmakta iken, birtakım ülkelerde ise daha nitelikli ve yüksek yaptırımı gerektiren suçlarda söz konusu verilerin alınması ve saklanması mümkün olmaktadır.

Ülkemizde parmak izi inceleme alanını ilgilendiren mevzuat incelendiğinde, bazı kişilerin parmak izlerinin adli ve idari amaçlarla doğrudan kolluk görevlileri tarafından alınarak parmak izi sistemine kaydedilebildiği (2559 SK. 5.md., 2007), hakkında suç soruşturması veya kovuşturması yürütülen diğer bazı kişilerin parmak izlerinin ise Cumhuriyet Savcısının talimatıyla kolluk tarafından alınarak parmak izi sistemine kaydedilebildiği görülmektedir (5271 SK. 81.md., 2004; 25832 S.Ynt., 2005).

Parmak izi ile ilgili ulusal mevzuat kapsamında;

- Parmak izi alımı
- Parmak izlerinin saklanması
- Parmak izlerinden yararlanılması

konularında düzenlemeler yapıldığı görülmektedir.

Parmak izi alımında; hedef kitle yani adli veya idari olarak hangi kişilerin ve hangi koşullarda parmak izi alınacağı, parmak izi ile birlikte alınacak diğer kişisel verilerin neler olduğu,

Parmak izlerinin saklanmasında; kayıt ve saklama işlemlerine yönelik koşullar, kayıt ve saklama yeri, gizlilik ve ne kadar süreyle saklanacağı,

Parmak izlerinden yararlanılmasında ise hangi amaçlarla ve kimlerin kullanım ve yararlanma yetkisi olduğu, kullanımın amacı ve sınırı ile kullananın denetimi konuları ortaya konmuştur.

Adli amaçlı parmak izi ve avuç izi veritabanlarında aynı zamanda, olay yerinden elde edilen ve sahibi tespit edilemeyen parmak izleri ve avuç izlerinin saklandığı Olay Yeri İzleri Veritabanları da önemli yer tutmaktadır. Bu veritabanlarında, henüz sahibi tespit edilememiş izler, daha sonra kaydedilecek

izlerle irtibatlandırılması ihtimali göz önüne alınarak süresiz olarak saklanmaktadır. Dolayısıyla bugün çözülemeyen bir olayın, gelecekte parmak izi veritabanı yardımıyla failinin tespit edilebilmesi her zaman mümkün olabilmektedir.

Suç soruşturmasının yanında, adli boyutta ihtiyaç duyulan;

- Kimliği belirsiz cesetlerin (doğal ölüm sonucu veya felaket kurbanları) kimliklendirilmesi (Interpol, 2009 ve NIJ, 2005),

- Kimliğini kanıtlayamayanların kimliklerinin tespiti (kimliksiz yakalanan şüpheliler, akıl hastaları veya meczup kişiler gibi),

- Sahte kimlik kullandığından şüphelenilen kişilerin gerçek kimliklerinin tespitine yönelik olayların araştırılması ve çözüme kavuşturulmasında da parmak izi veritabanlarından etkin şekilde faydalanılmaktadır.

1.4. Parmak İzi Sistemlerinin İdari Amaçlarla Kullanımı

En önemli kişisel tanımlama ve ayırt etme yöntemlerinden birisi olarak parmak izi, diğer bazı idari hizmetlerin yürütülmesi amacıyla da etkin şekilde kullanılmaktadır. Bu amaçla parmak izlerinin alındığı ve saklandığı, yine aynı idari amaç doğrultusunda sorgulamaların yapıldığı **idari amaçlı veritabanları** veya daha küçük çapta biyometrik sistemler, birçok alanda ve sektörde ihtiyaca cevap vermektedir.

- Sınır kapılarında ülkeye giriş ve çıkış işlemleri,
- Genel sağlık sigortası kapsamında sağlık kurumları tarafından verilen hizmetler,
- Mülteci kamplarında veya göçmen geri gönderme merkezlerinde genel idari hizmetlerin yürütülmesi gibi çok sayıda büyük çaplı işlem ve hizmeti kolaylaştırmasının yanında, kamu ve özel sektör işletmelerinde, belirli alanlara personelin giriş-çıkışının takibi veya sınırlandırılması gibi işlemlerin kontrolünde, diğer biyometrik verilerle kıyaslandığında parmak izi, kullanılan en yaygın ve güvenilir biyometrik veridir (Unar ve ark., 2014).

1.5. Ulusal Entegre OPTES

Günümüzde, kurulum ve idame maliyetleri yüksek olan parmak izi sistemlerinden en üst düzeyde faydalanılması amacıyla; adli veya idari amaçla teşkil edilen sistemlerin bir bütün olarak entegre edilmesi yoluna gidilmektedir. Entegre OPTES'te mevcut parmak izi sistemine ilave veya bu sistemle bağlantılı olarak, kişinin diğer biyometrik verileri ve geçmiş suç kayıtları gibi bilgiler de saklanmaktadır (Moses, 2014). Bu şekilde teşkil edilen veritabanlarının da ilgili ülkenin hukuki mevzuatı doğrultusunda, soruşturma veya kovuşturma yetkilisi kurumlar tarafından kullanılma teknik imkân ve kabiliyetleri bulunmaktadır.

1.6. Parmak İzi Sistemlerinin Teknik Olarak Kullanımı

Parmak izi sistemlerinin işletim tekniği, temel olarak parmak izinde bulunan karakteristiklerin varlığına (Ratha ve Bolle, 2004 ve Maltoni ve ark., 2009) ve bunların birbiri ile konumsal ilişkilerine dayanmaktadır. Sistem tarafından parmak izinin en uygun şartlarda işlenebilmesi ve kullanılabilmesi, parmak izi karakteristiklerinin net olarak tespit edilebilmesine ve tespit yapılırken hataların en aza indirilebilmesine bağlıdır (Ratha ve ark., 1995 ve Gao ve ark., 2010).

OPTES'te sorgu ve tespit işlemleri; sorgulanan izin, sistemin kendisi ve parmak izi uzmanı tarafından kodlanan özellikleri sayesinde (Langenburg ve ark., 2015), veritabanında kayıtlı milyonlarca parmak izi arasından aynı olması muhtemel aday izlerin, sistem tarafından otomatik olarak sıralanması ve sıralanan adaylar arasında varsa aynı olan izin yine parmak izi uzmanı tarafından tespiti ilkesine dayanır (Nagar ve ark., 2012).

Adli amaçlı parmak izi veritabanları genel olarak; Kişilere Ait Parmak İzleri Veritabanı (Tenprints Database) ve Olay Yeri İzleri Veritabanından (Latent Database) oluşur (Moses, 2014). Sorgusu yapılacak her bir yeni kişi izi veya olay yeri izi her iki veritabanından sorgulanır. Burada ulaşılmak istenen amaç;

Olay yeri izinin sahibinin tespiti: Olay yeri izinin, veritabanında kayıtlı kişi izleri arasında kime ait olduğunun tespit edilmesidir.

Olayların birbiri arasında irtibatının tespiti: Olay yeri izinin, geçmişte meydana gelen bir olayda tespit edilen, halen sahibi tespit edilemeyen ve veritabanında kayıtlı bulunan başka bir olay yeri izi ile irtibatının tespitidir (Hafetz ve ark., 2016).

Kişinin geçmiş faili meçhul olaylarla irtibatının araştırılması: Kişiye ait izin, geçmişte meydana gelen bir olayda tespit edilen, sahibi tespit edilemeyen ve veritabanında kayıtlı bulunan olay yeri izi ile irtibatının tespitine çalışılmasıdır.

Kimlik tespiti veya mükerrer kayıt kontrolü: Kişiye ait izin, geçmişte aynı kişiden alınarak kaydedilen ve **aynı kimlik bilgisi** altında kayıtlı kişi izi ile irtibatının araştırılmasıdır (Jain ve ark., 1997).

Sahte kimlik kullanımının tespiti: Kişiye ait izin, geçmişte alınarak kaydedilen **farklı bir kimlik bilgisi** (kimlik bilgisinin aynı kişi izlerinin farklı olması durumu da bu kapsamda değerlendirilir) altında kayıtlı bir kişi izi ile irtibatının araştırılmasıdır.

Özetle parmak izi veritabanlarının teknik kullanımında amaç, olay-kişi, kişi-olay, olay-olay ve kişi-kişi irtibatının kurulabilmesidir (Cole, 2001).

1.6.1. Kişilerden Alınan Parmak İzleri

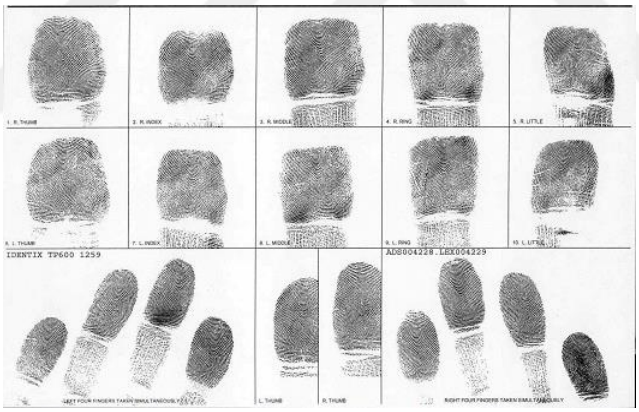
Kişilerin on parmak izlerinin her biri prensip olarak, çevrilerek (tırnaktan tırnağa) ve düz basım olarak alınır ve OPTES'e kaydedilir. Parmak izleri, parmak izi alma mürekkebi ile bu amaç için tasarlanmış formlara alınarak yüksek çözünürlükteki optik tarayıcılar yardımıyla OPTES'e kaydedilebileceği gibi son yıllarda giderek yaygınlaşan dijital parmak izi alma cihazları (live scan) ile alınarak da doğrudan OPTES'e kaydedilebilmektedir (Şekil 1.1).

OPTES'te kayıtlı aynı kişiye ait çevrim ve düz basım parmak izleri, sorgu aşamasında OPTES tarafından **ayrı ve bağımsız veri olarak** kabul edilir ve kullanılır.



Şekil 1.1. Parmak izi alım teknikleri

Alma ve kaydetme yönteminden bağımsız olarak; **çevrim izler,** parmak izinin daha geniş alanını kapsayan, dolayısıyla daha fazla sayıda karakteristik özellik ihtiva eden (Zhou ve ark., 2001) ancak alım tekniğine bağlı olarak görüntüsel netlik açısından daha az homojenize yapıda iken **düz basım izler**, parmak izinin daha dar bir alanını kapsayan, daha az sayıda karakteristik özellik ihtiva eden buna rağmen daha net ve homojenize görünüme sahip yapıdadır (Feng ve ark., 2009) (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Çevrim ve düz basım parmak izleri

Çevrim izlerin alınmasında; meydana gelen iz kayıplarını önlemek ve iz görüntüsünü daha homojen haline getirmek amacıyla üç boyutlu tarayıcılar kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Böylece düz basım izlerdeki net ve homojen iz görüntüsünü çevrim izler için de sağlamak ve sistem sorgusunda irtibat oranlarını artırmak hedeflenmektedir. Ancak bu tekniğin sistem sorgularına beklenen katkıyı sağlaması için daha fazla geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır (Parziale ve Diaz-Santana, 2006).

1.6.2. Olay Yeri Parmak İzleri

Olay yeri parmak izleri, olay yerinden veya olay yerindeki bir bulgu üzerinden çok farklı yapıda ve görüntüde elde edilirler (Hicklin ve ark., 2013). Bunun sebebi, olay yeri parmak izlerinin, izi oluşturan kişiye, çevresel faktörlere, izin bırakıldığı yüzeye, izin bırakılış şekline veya iz bırakıldıktan sonra geçen süreye göre değişiklik göstermesidir. Sayılan etkilerin bir kısmı olay yeri izinin elde edilmesini kolaylaştırırken, büyük kısmı ise olumsuz etkileyerek o izin kullanımını zorlaştırmaktadır.

Bunun yanında, olay yeri parmak izleri, genellikle az sayıda karakteristik özellik içerirler. Ayrıca bazı olay yeri izlerinde, parmak izinin teşhisi için önemli olan merkez ve delta bölgeleri net olarak görülemeyebilir veya papil akışı net ve fikir verebilir düzeyde izlenemeyebilir. Bunun sebebi olay yerinde yüzey üzerine bırakılan parmak izlerinin, çoğu zaman tam parmak izi olmayıp bütünün küçük bir parçası olması veya tam parmak izi olsa bile parmak izi karakteristik özelliklerini yansıtamayacak şekilde netliğinin bozulmuş olmasıdır (Paulino ve ark., 2013). Parmak izinin mukayeseye elverişliliği (Neumann ve ark., 2011; SWGFAST, 2011 ve Gittelson ve ark., 2013) ve OPTES sorgu standartları açısından önemli kriterlerden olan bu olumsuzluklar, o olay yeri izinden inceleme, sorgu ve tespit anlamında faydalanmayı güçleştirebilir veya imkansız hale getirebilir.

1.7. OPTES'te Sorgu ve Tespit

Parmak izlerinin OPTES'te sorgu ve tespiti temel olarak; sorgulanan parmak izi görüntüsünün veritabanında kayıtlı eş parmak izi görüntüsü ile eşleştirilmesi işlemidir. Eşleştirme, karşılaştırılan ve aynı kaynağa ait olduğu düşünülen iz veya iz parçalarının papil yapısı ve parmak izi karakteristikleri açısından birebir örtüştürülmesidir. Eşleştirilme işleminin yapılabilmesi, parmak izi görüntüsünün netliğine ve görüntülerin ne kadar çok ayırt edici ve ortak parmak izi karakteristiği içerdiğine bağlıdır. Başka bir ifade ile OPTES'te sorgu ve tespit işlemi; sorgulanacak parmak izinin, OPTES'te kayıtlı tüm izlerle karşılaştırılarak aynı olma veya olmama durumunun tespit edilmesi işlemidir. Bu işlemin milyonlarca parmak

izinden oluşan bir veritabanında oldukça süratli ve hata payının en aza indirilmiş şekilde yapılması gerekmektedir.

Sistem sorgusu sonucu, net görüntüye sahip ve çok sayıda parmak izi karakteristiği içeren kişi parmak izlerinin, eş parmak izi görüntüsü bulunarak tespit yapılması daha kolay iken; görüntü netliği bozuk veya sadece bütünün küçük bir parçası durumundaki olay yeri parmak izinin eş parmak izi görüntüsünün bulunması ve tespiti daha zor olmaktadır (Moses, 2014).

OPTES'te parmak izi sorgusu işlevlerini yapmak için geliştirilen yazılımlarda genel olarak; parmak izi karakteristiklerinin (minuşya) belirlenmesine ve karşılıklı eşleştirilmesine (He ve ark., 2007; Feng, 2007; Chen ve ark., 2009; Cao ve ark., 2012 ve Zhao ve ark., 2008), parmak izi papil hatlarının (parmak izi iskeleti) belirlenmesine ve karşılıklı eşleştirilmesine (Wand ve ark., 2003 ve Feng ve ark., 2006), parmak izi yapısındaki (dokusundaki) parmak izine ait genel yapısal özelliklerin belirlenmesine ve karşılıklı eşleştirilmesine (Jain ve ark., 2000 ve Yang ve Park, 2008) ve parmak izi ile ilgili çok sayıda parametrenin kullanılarak (Queka ve ark., 2001 ve Labati ve ark., 2013) parmak izlerinin eşleştirilmesine dayalı sorgu metotları kullanılmakta olup, bunlar arasında en yaygın metot parmak izi karakteristiklerinin belirlenmesine ve karşılıklı eşleştirilmesine dayalı metottur (Zhang ve ark., 2016).

Sorgu işlevlerini yerine getiren yazılımlar arasında, 2000'li yılların başlarında standartları ortaya koymak ve yazılımların başarı oranlarını belirlemek amacıyla yapılan uluslar arası testlerde %95'in üzerine taşınan kişi-kişi irtibat başarı oranları (Wood ve Wilson, 2004); gelişen teknoloji ile günümüzde %99.9 civarında başarı yüzdesini yakalamıştır. Bunun yanında olay-kişi, kişi-olay, olay-olay irtibatlarında başarı oranları, uluslar arası düzeyde yapılan çok sayıda karşılaştırma testlerinde %70-80 seviyelerini geçememektedir (Watson ve ark., 2014).

1.8. Çalışmanın Amacı

OPTES yazılımları üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları yapan tüm uygulayıcıların ortak amacı, olay yeri izi sorgularında başarı oranını artırmaktır. Çok

fazla olumsuz değişkene bağlı olarak farklı yapıda elde edilen olay yeri izlerinin, OPTES'te eş izi olmasına rağmen sorgu sonucu irtibat ve eşleşme sağlanamaması, bu sistemlerin en büyük sorunudur. Bugüne kadar bu alanda başarı yüzdelerini artırmak için çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Çalışmaların bir boyutunda, asıl tespit kararını veren insan (parmak izi uzmanı) unsurunun eğitimine, nitelik ve tecrübesinin artırılmasına (Langenburg ve ark., 2012; Arora ve ark., 2014; Ulery ve ark., 2014; Dror ve ark., 2006 ve 2011; Edmond ve ark., 2014), hatalı inceleme ve tespit yapılmasının önüne geçilmesine (Ulery, 2017) yönelik gayret sarf edilmekte, ayrıca parmak izi uzmanının parmak izi tespiti kararını verirken hangi kişisel etkenler (Hall ve Player, 2008) ile dış etkenler altında kaldığına yönelik hususlar (Dror ve ark., 2012 ve Mustonen ve ark., 2015) araştırılmakta ve bunlar giderilmeye çalışılmaktadır. Bunun yanında parmak izi uzmanlarının yetenek ve tecrübelerini çalışmalarına yansıtma biçimleri (Thompson ve Tangen, 2014) veya parmak izi uzmanlarının hata yapmasına yol açabilecek potansiyel faktörler (Schiffer ve Champod, 2007 ve Dror ve Mnookin, 2010) değerlendirilmektedir. Çalışmaların daha büyük kısmını ise Tartışma Bölümünde çok sayıda kaynağa dayalı olarak belirtildiği gibi OPTES sorgu performanslarının ve süratinin artırılması ile tespit hata oranlarının düşürülmesi amacı doğrultusunda yazılım algoritmalarının geliştirilmesi çalışmaları oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın ana amacı da, olay yeri izi sorgularında irtibat başarı oranını artırmaya yönelik denemeler yapmak ve bunun sonucunda OPTES sorgu performansının artırılması amacıyla çıkarımlarda bulunmak olarak belirlenmiştir. Çalışma bu amaçla kurgulanmış, çevrim ve düz basım olarak alınan parmak izlerini birbirinden ayrı ve bağımsız veriler olarak sorguya dahil eden Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemleri için, her iki izin entegre/bileşik bir veri olarak sorguya dahil edilmesi durumunda sorgu başarı performansının artırılabileceği düşünülmüştür.

Ayrıca 20 yılı aşan zaman diliminde ülkemizde kolluk birimleri tarafından kullanılan ve suç soruşturmalarında önemli bir yeri bulunan OPTES'in sorgu başarı performansını artırıcı yönde yapılacak bir akademik çalışma ile parmak izi alan görevliler ve parmak izlerini OPTES'te sorgulayan ve tespitleri yapan parmak izi uzmanlarına ilave bakış açısı sağlayacak bilgiler kazandırmak hedeflenmiştir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Parmak İzlerinin Alınması ve Çalışmaya Dahil Edilmesi

Çalışmada 18 yaş ve üzeri okuma yazma bilen, fizyolojik olarak parmak izlerinin alınmasına bir engeli bulunmayan gönüllü kadın-erkek 105 kişinin on parmak izleri, her iki elin baş, işaret, orta, yüzük ve serçe parmak izleri; çevrim (tırnaktan tırnağa) ve düz basım alım teknikleriyle, parmak izi mürekkebi yardımıyla Parmak İzi Formu üzerine alınmıştır. Parmak izi alınan kişiler için Aydınlatılmış Onam Formu düzenlenerek kişilerin gönüllü olarak çalışmaya katıldıklarına dair imzaları alınmıştır.

Form üzerindeki parmak izleri, tarayıcı vasıtasıyla yüksek çözünürlükteki (500 dpi) tarayıcı ile taranarak OPTES eğitim segmentine kaydedilmiştir. Kişilere ait 1050 adet çevrim, 1050 adet düz basım olmak üzere toplam **2100 adet tek parmak izine**, OPTES yazılımı ara yüzlerinde yer alan uygun menüler ve seçenekler kullanılarak düzeltme ve yön belirleme işlemleri uygulanmıştır.

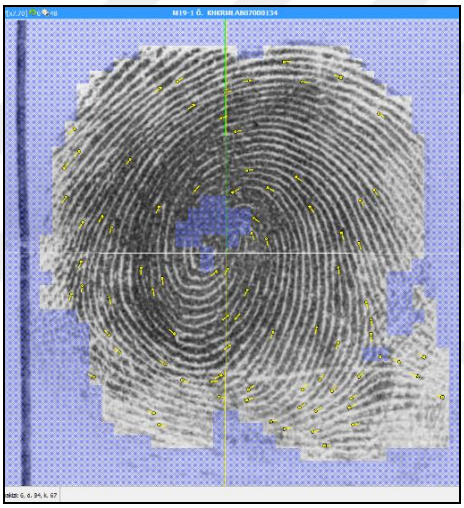
2100 tek parmak izinin her biri için OPTES yazılımı tarafından otomatik olarak tespit edilen parmak izi karakteristik özellik sayıları ve izin yüzdesel kalite değerleri kayıt altına alınmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Çevrim ve düz basım izlerin karakteristik sayıları ve kalite değerleri

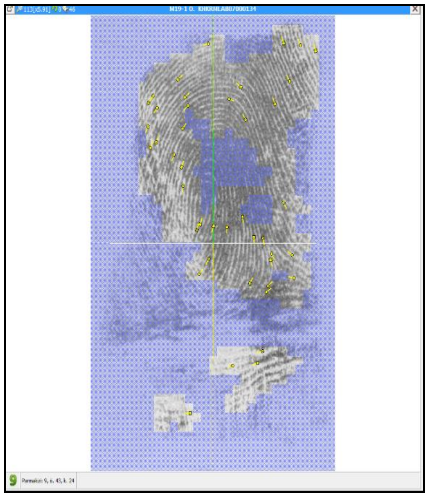
		Çevrim İzler										Düz Basım İzler									
Gönüllü Kişi S.Nu.		Sağ El					Sol El					Sağ El					Sol El				
		Baş	İşaret	Orta	Yüzük	Serçe	Baş	İşaret	Orta	Yüzük	Serçe	Baş	İşaret	Orta	Yüzük	Serçe	Baş	İşaret	Orta	Yüzük	Serçe
1	Özellik Sayısı	129	67	66	54	49	117	59	56	73	67	66	31	27	23	13	83	35	36	37	28
	Kalite (%)	82	71	60	53	57	87	72	50	53	50	80	79	62	43	33	86	77	45	31	30
2	Özellik Sayısı	125	97	104	60	67	108	73	81	76	51	90	44	30	37	16	64	35	41	25	30
	Kalite (%)	88	82	84	59	78	76	88	79	85	54	80	86	93	64	50	71	70	65	87	53
3	Özellik Sayısı	112	86	112	119	77	111	88	78	60	86	80	36	58	62	37	71	49	53	42	48
	Kalite (%)	77	70	77	65	73	70	62	60	39	61	63	58	56	59	57	71	72	70	45	73
4	Özellik Sayısı	172	100	86	95	75	126	85	79	82	76	97	45	52	58	34	88	59	44	76	41
	Kalite (%)	81	80	72	77	75	84	81	74	75	72	86	65	79	76	74	83	78	68	67	65
5	Özellik Sayısı	168	89	114	116	86	136	93	124	96	86	104	56	69	70	31	70	60	79	60	50
	Kalite (%)	74	65	70	66	66	65	67	66	61	63	67	78	78	71	59	79	77	77	76	80

Çalışmanın yapıldığı parmak izi sistem algoritması, kaydedilen her parmak izi için otomatik olarak %100 üzerinden kalite değerini ve parmak izinde bulunan karakteristik sayısını tespit ederek kullanıcıya vermektedir. Çalışmada

kullanılabilirlik bakımından en az %40 kalite değeri ve 30 adet karakteristik sayısı eşik düzey kabul edilerek bu değerlere ulaşabilen parmak izleri çalışmaya dahil edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, parmak izi karakteristik sayıları ve izin yüzdesel kalite değerlerine göre çalışmanın ilerleyen aşamalarında çalışmaya dahil edilecek parmak izlerinin hangileri olacağına karar verilmiştir. (Şekil 2.1). Bu değerler altında kalan parmak izlerinden belirlenen prosedüre uygun olay yeri izi oluşturma şansı bulunmamaktadır. Dolayısıyla karakteristik sayısı ve kalite yüzdesi bu değerlerin altında kalan parmak izleri **yetersiz** kabul edilerek çalışma dışı bırakılmıştır (Şekil 2.2). Belirtilen şartlara uyan çevrim ve düz basım izlerden toplam 1538 adet parmak izi çalışmaya dahil edilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmaya dahil edilen parmak izi örneği (84 özellik sayısı, %67 kalite değeri)



Şekil 2.2. Çalışma için yetersiz parmak izi örneği (43 özellik sayısı, %24 kalite değeri)

Belirtilen şartlara uyan çevrim ve düz basım izlerden 769'şar adet parmağa ait izler olmak üzere toplam **1538 adet parmak izi** dahil edilerek çalışmaya devam edilmiştir (Çizelge 2.2). Bu değerlendirmeye bağlı olarak kalitesi yetersiz bulunarak çalışmada kullanılamayan parmak izi sayısı çevrim ve düz basım izlerden 281'er adet olmak üzere toplam 562 adettir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılan izlerin parmaklara göre dağılımı

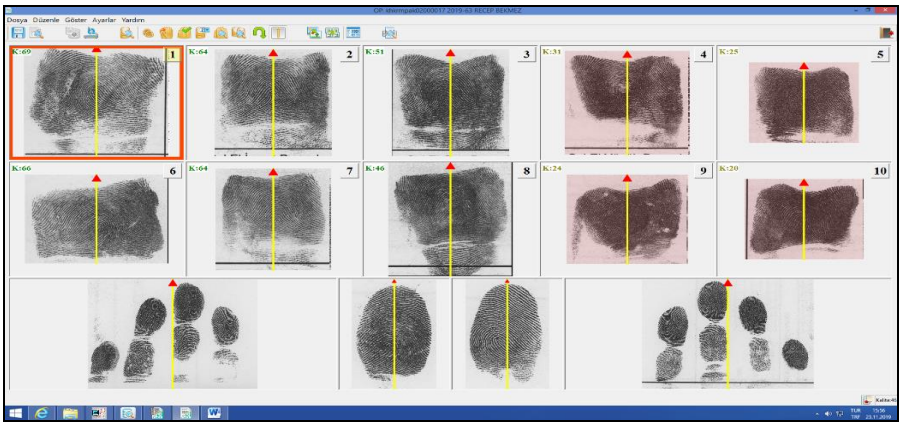
El/Parmak	**Baş**	**İşaret**	**Orta**	**Yüzük**	**Serçe**	**TOPLAM**
SAĞ	102	95	89	72	52	**410**
SOL	100	82	76	62	39	**359**
GENEL TOPLAM						**769**

Çizelge 2.3. Çalışmada kullanılamayan izlerin parmaklara göre dağılımı

El/Parmak	**Baş**	**İşaret**	**Orta**	**Yüzük**	**Serçe**	**TOPLAM**
SAĞ	3	10	16	33	53	**115**
SOL	5	23	29	43	66	**166**
GENEL TOPLAM						**281**

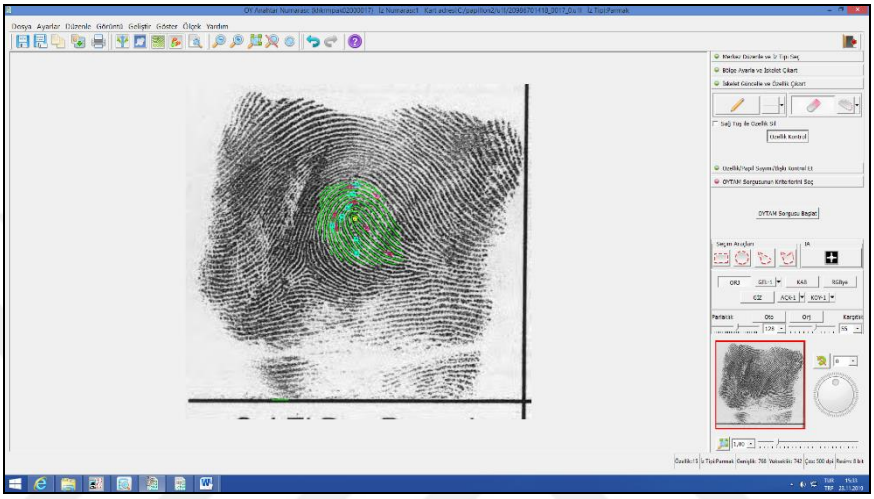
2.2. Olay Yeri İzlerinin Oluşturulması

Bir sonraki aşamada, karakteristik sayısı ve kalite değerleri yeterli kabul edilen parmak izlerinden, sorgulamaya esas olmak üzere olay yeri izleri üretilmiştir. Bu amaçla yine OPTES yazılımı ara yüzlerinde yer alan uygun menüler ve seçenekler kullanılarak, çalışmaya dahil edilen parmak izleri Olay Yeri İzi Kodlama Ekranına (Şekil 2.3) gönderilmiştir.

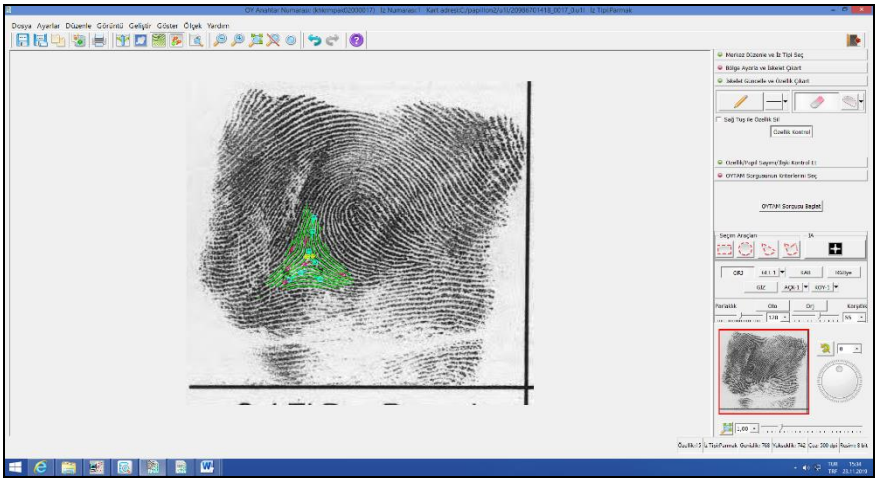


Şekil 2.3. Olay yeri izi kodlama ekranında yapılan işlemler

Olay yeri izi kodlama ekranında her bir parmak izi işlenerek, **merkez bölge, delta bölgesi, üst bölge, yan bölge ve alt bölge** olmak üzere her bir izden mümkün olan en fazla sayıda olay yeri izleri oluşturulmuştur (Şekil 2.4 ve 2.5). Olay yerinden veya bir bulgu üzerinden elde edilen bir **olay yeri izi**, parmak izi bölgelerinden yukarıda belirtilen **beş bölgenin** en az birisinin bulunduğu bölgede yer almaktadır. Bu sebeple çalışmada oluşturulan olay yeri izi seçildiği bölgenin adıyla belirtilmiştir.



Şekil 2.4. On parmak izinden olay yeri izi oluşturulması (merkez bölge)



Şekil 2.5. On parmak izinden olay yeri izi oluşturulması (delta bölgesi)

Olay yeri izleri, konum olarak yukarıda belirtilen bölgelerden sadece birisinde olmak koşuluyla en az 8, en fazla 15 adet parmak izi karakteristiği ihtiva

edecek şekilde ana parmak izi görüntüsünden işaretleme, kırpma ve kalan izi kalıp halinde çıkarma yöntemiyle yeni kayıt olarak oluşturulmuştur.

Olay yeri izleri için parmak izi karakteristik sayılarının 8-15 arasında seçilmesinde amaç, sorgulanacak izlerin mukayeseye elverişlilik sınırında tutulmasıdır. Parmak izi literatüründe mukayeseye elverişlilikte karar kriterini esas alınan bilimsel çalışmalarda, en az karakteristik özellik sayısı 8 ile 16 arasında kabul edilmektedir. (Osterburg, 1964; Evett ve Williams, 1996 ve Langenburg, 2014). Parmak izinin yapısı, izin netliği ve karakteristik sayısının imkan verdiği ölçülerde her bir tek parmak izinin farklı bölgelerinden 2 ile 9 adet olay yeri izi oluşturulabilmiştir.

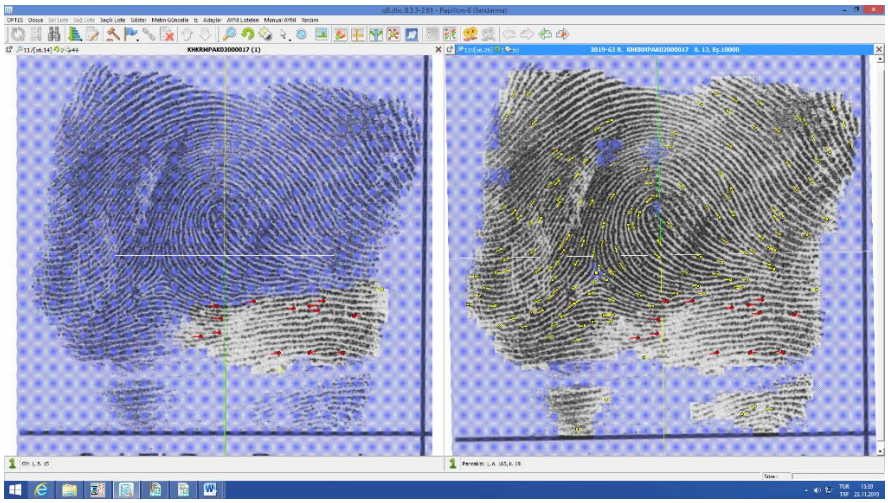
Yukarıda belirtilen işlemler sonucu çevrim ve düz basım izlerden **7243 adet olay yeri izi** oluşturularak (Çizelge 2.4) çalışmaya devam edilmiştir.

Çizelge 2.4. Olay yeri izlerinin parmak izi bölgelerine göre dağılım sayısı

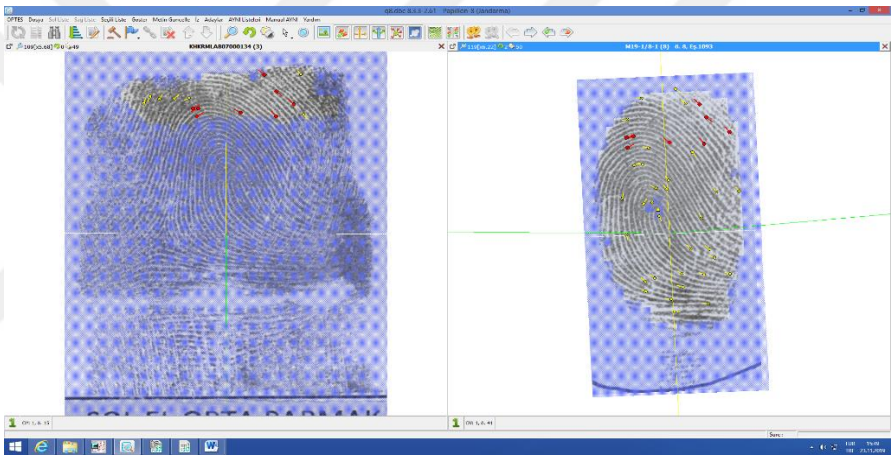
	Merkez Bölge	**Delta Bölgesi**	**Üst Bölge**	**Yan Bölge**	**Alt Bölge**	**TOPLAM**
Çevrim İzler	745	942	1273	546	778	**4284**
Düz Basım İzler	739	545	797	180	698	**2959**
GENEL TOPLAM						**7243**

2.3. Olay Yeri İzlerinin Sorgulanması

Çevrim ve düz basım parmak izlerinden oluşturulan **her bir olay yeri izi**, **kendi** kaynağı (çevrim/düz basım) olan parmak izi ve aynı parmağın **diğer** (çevrim/düz basım) kaynak parmak izinin kayıtlı olduğu veritabanında sorguya gönderilmiştir. Diğer bir ifadeyle veritabanında kaynak izi bulunan olay yeri izinin; kendi kaynak izi, diğer kaynak izi veya her iki kaynak izi eşleşmesini ya da eşleşememesini gözlemlemek amacıyla kontrollü deneyler yapılmıştır (Şekil 2.6 ve 2.7).



Şekil 2.6. Olay yeri izinin kendi kaynak izi ile irtibatı (SSH)



Şekil 2.7. Olay yeri izinin diğer kaynak izi ile irtibatı (OSH)

Sistem tarafından sorgusu tamamlanan olay yeri izlerinin, sorgu aday listeleri kontrol edilerek sorgu sonucu tespit durumları kayıt altına alınmıştır (Şekil 2.8). Sorgulanan olay yeri izlerinin tespit/eşleşme veya eşleşmeme durumları aşağıda belirtilen kısaltmalarla ifade edilmiştir:

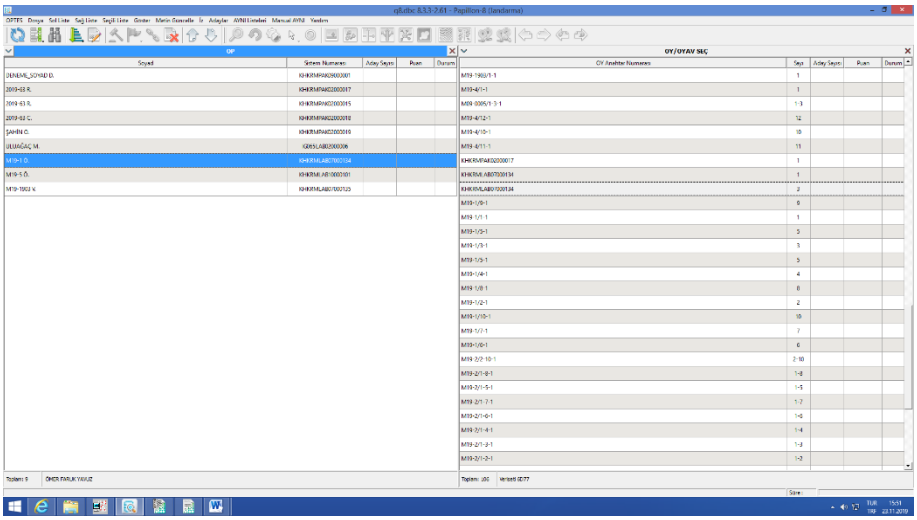
-FH (*full hit*): Her iki kaynak iz ile irtibat

-SSH (*self source hit*): Sadece kendi kaynak izi ile irtibat

-OSH (*other source hit*): Sadece diğer kaynak iz ile irtibat

-NH-OLH (*non-hit but other latent hit*): Her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan izin eş olay yeri izi irtibatı

-NH (*non-hit*): Her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan



Şekil 2.8. OPTES sorgu sonucu aday listesi

3. BULGULAR

3.1. Sorgu Sonucu İstatistikleri

İstatistik paket programı yardımıyla OPTES sorgu sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile parmak izlerinin merkez bölge, delta bölgesi, üst bölge, yan bölge ve alt bölgeleri için FH, SSH, OSH, NHOLH ve NH durumlarına göre sıklık ve yüzde değerleri elde edilmiştir.

Çevrim izlerin merkez bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 466 (%62,6), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 235 (%31,5), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 10 (%1,3), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 26 (%3,5) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 8 (%1,1) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Çevrim merkez bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	466	22,2	62,6	62,6
	SSH	235	11,2	31,5	94,1
	OSH	10	,5	1,3	95,4
	NHOLH	26	1,2	3,5	98,9
	NH	8	,4	1,1	100,0
	TOPLAM	745			

Düz basım izlerin merkez bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 408 (%55,2), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 267 (%36,1), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 8 (%1,1), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 45 (%6,1) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 11 (%1,5) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Düz basım merkez bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	408	19,4	55,2	55,2
	SSH	267	12,7	36,1	91,3
	OSH	8	,4	1,1	92,4
	NHOLH	45	2,1	6,1	98,5
	NH	11	,5	1,5	100,0
	TOPLAM	739			

Çevrim izlerin delta bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 283 (%30), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 557 (%59,1), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 8 (%0,8), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 48 (%5,1) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 46 (%4,9) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Çevrim delta bölgesi olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	283	13,5	30,0	30,0
	SSH	557	26,5	59,1	89,2
	OSH	8	,4	,8	90,0
	NHOLH	48	2,3	5,1	95,1
	NH	46	2,2	4,9	100,0
	TOPLAM	942			

Düz Basım izlerin delta bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 315 (%57,8), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 181 (%33,2), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 10 (%1,8), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 25 (%4,6) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 14 (%2,6) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Düz basım delta bölgesi olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	315	15,0	57,8	57,8
	SSH	181	8,6	33,2	91,0
	OSH	10	,5	1,8	92,8
	NHOLH	25	1,2	4,6	97,4
	NH	14	,7	2,6	100,0
	TOPLAM	545			

Çevrim izlerin üst bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 138 (%10,8), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 1066 (%83,7), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 48 (%3,8) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 21 (%1,6) değerleri elde edilmiştir. Bu tür olay yeri izlerinin sorgusunda **sadece diğer kaynak iz ile irtibatı (OSH) sağlanamamıştır** (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Çevrim üst bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	138	6,6	10,8	10,8
	SSH	1066	50,8	83,7	94,6
	NHOLH	48	2,3	3,8	98,4
	NH	21	1,0	1,6	100,0
	TOPLAM	1273			

Düz basım izlerin üst bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 363 (%45,5), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 367 (%46), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 6 (%0,8), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 56 (%7) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 5 (%0,6) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Düz basım üst bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	363	17,3	45,5	45,5
	SSH	367	17,5	46,0	91,6
	OSH	6	,3	,8	92,3
	NHOLH	56	2,7	7,0	99,4
	NH	5	,2	,6	100,0
	TOPLAM	797			

Çevrim izlerin yan bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 45 (%8,2), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 474 (%86,8), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 8 (%1,5) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 19 (%3,5) değerleri elde edilmiştir. Bu tür olay yeri izlerinin sorgusunda **sadece diğer kaynak iz ile irtibatı (OSH) sağlanamamıştır** (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Çevrim yan bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	45	2,1	8,2	8,2
	SSH	474	22,6	86,8	95,1
	NHOLH	8	,4	1,5	96,5
	NH	19	,9	3,5	100,0
	TOPLAM	546			

Düz basım izlerin yan bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 116 (%64,4), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 51 (%28,3), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 1 (%0,6), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 7 (%3,9) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 5 (%2,8) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Düz basım yan bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	116	5,5	64,4	64,4
	SSH	51	2,4	28,3	92,8
	OSH	1	,0	,6	93,3
	NHOLH	7	,3	3,9	97,2
	NH	5	,2	2,8	100,0
	TOPLAM	180			

Çevrim izlerin alt bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 168 (%21,6), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 326 (%41,9), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 15 (%1,9), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 106 (%13,6) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 163 (%21) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Çevrim alt bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	168	8,0	21,6	21,6
	SSH	326	15,5	41,9	63,5
	OSH	15	,7	1,9	65,4
	NHOLH	106	5,0	13,6	79,0
	NH	163	7,8	21,0	100,0
	TOPLAM	778			

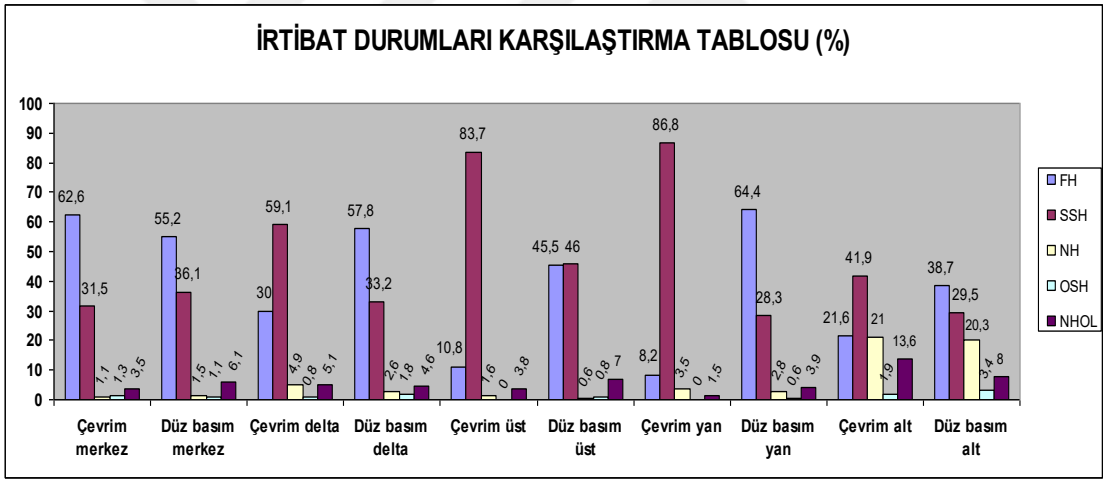
Düz basım izlerin alt bölgesinden oluşturulan olay yeri izlerinin sorgu sonuçlarına göre; her iki kaynak iz ile irtibatı olan (FH) 270 (%38,7), sadece kendi kaynak izi ile irtibatı olan (SSH) 206 (%29,5), sadece diğer kaynak iz ile irtibatı olan (OSH) 24 (%3,4), her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan ancak eş olay yeri izi irtibatı olan (NHOLH) 56 (%8) ve iki kaynak iz ile de irtibatı olmayan (NH) 142 (%20,3) değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Düz basım alt bölge olay yeri izi sorgu sonuçları

		Frekans	Yüzdesel Değer (%)	Geçerli Yüzdesel Değer (%)	Birikimli Yüzdesel Değer (%)
İrtibat durumu	FH	270	12,9	38,7	38,7
	SSH	206	9,8	29,5	68,2
	OSH	24	1,1	3,4	71,6
	NHOLH	56	2,7	8,0	79,7
	NH	142	6,8	20,3	100,0
	TOPLAM	698			

3.2. Parmak İzi Bölgelerine Göre FH, SSH, NH, OSH, NHOLH Tespitleri

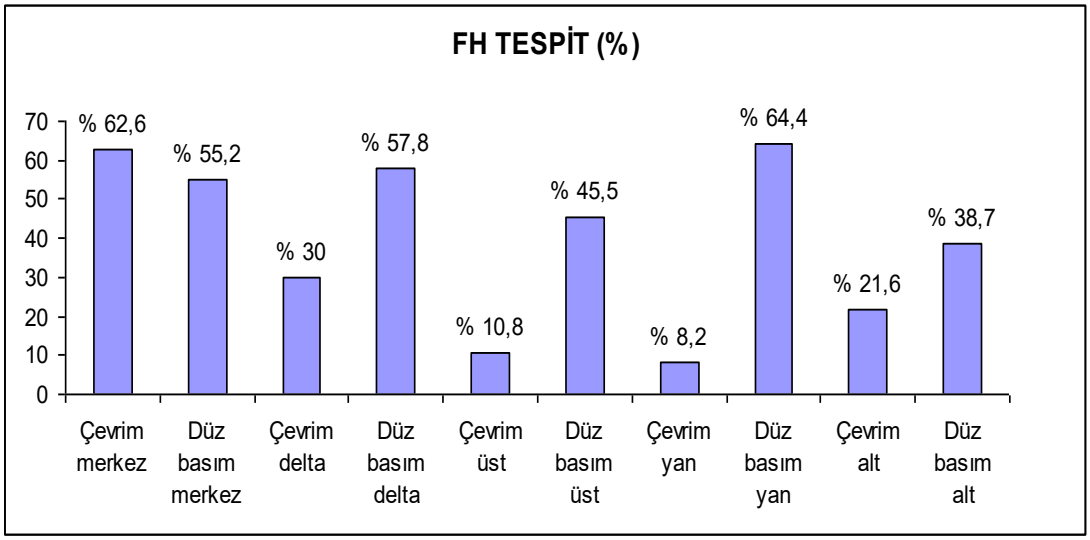
Merkez, delta, üst, yan ve alt bölgelere göre irtibat durumlarının karşılaştırma tablosu aşağıda verilmiştir (Şekil 3.1):



Şekil 3.1. İrtibat durumları karşılaştırma tablosu

OPTES'te bir olay yeri izinin sorgulanması sonucunda; veritabanında ait olduğu kişinin on parmak izi çevrim ve düz basım olarak kayıtlı ise OPTES'in, olay yeri izi ile **her iki on parmak izini irtibatlı olarak tespit etmesi (FH) beklenir**.

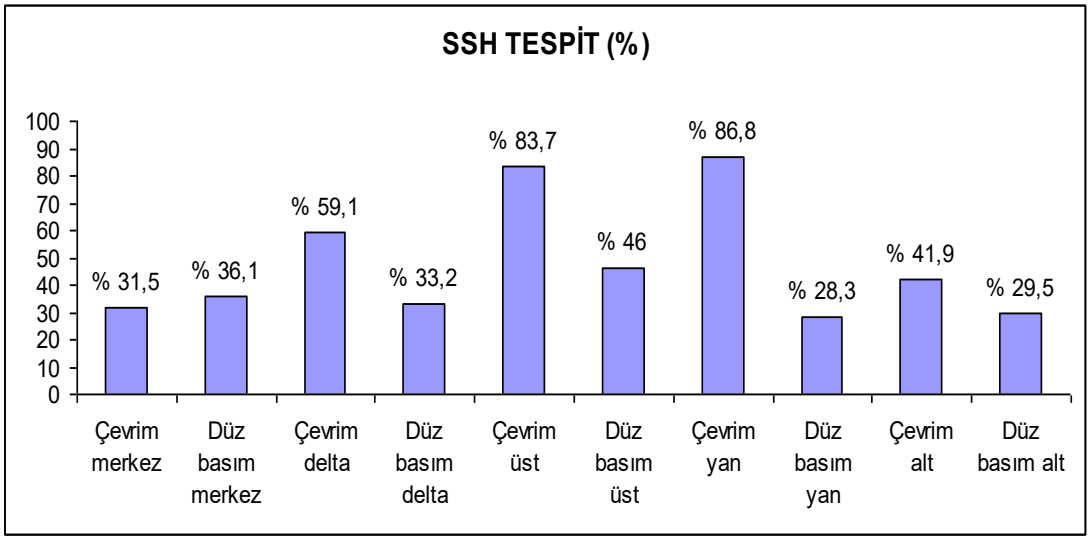
Ancak OPTES'te pratikte FH tespitler yanında, on parmak izi çevrim ve düz basım olarak kayıtlı olmasına rağmen, olay yeri izinin sadece kendi kaynak izinin (SSH), sadece diğer kaynak izinin (OSH) irtibatlı olarak tespiti yapılabilmekte veya iki kaynak izi ile de irtibat sağlanamamaktadır (NH).



Şekil 3.2. Bölgelere göre FH tespit yüzdeleri

FH tespit yüzdeleri değerlendirildiğinde (Şekil 3.2); çevrim ve düz basım izlerin her ikisinin de **merkez** bölgelerinde, yine düz basım izlerin **delta, üst** ve **yan** bölgeleri ile nispeten **alt** bölgesinde yüksek oranda FH tespiti sağlandığı görülmektedir. Merkez bölge dışındaki çevrim iz bölgelerinde ise FH tespiti oranının oldukça düşük olduğu belirtilebilir.

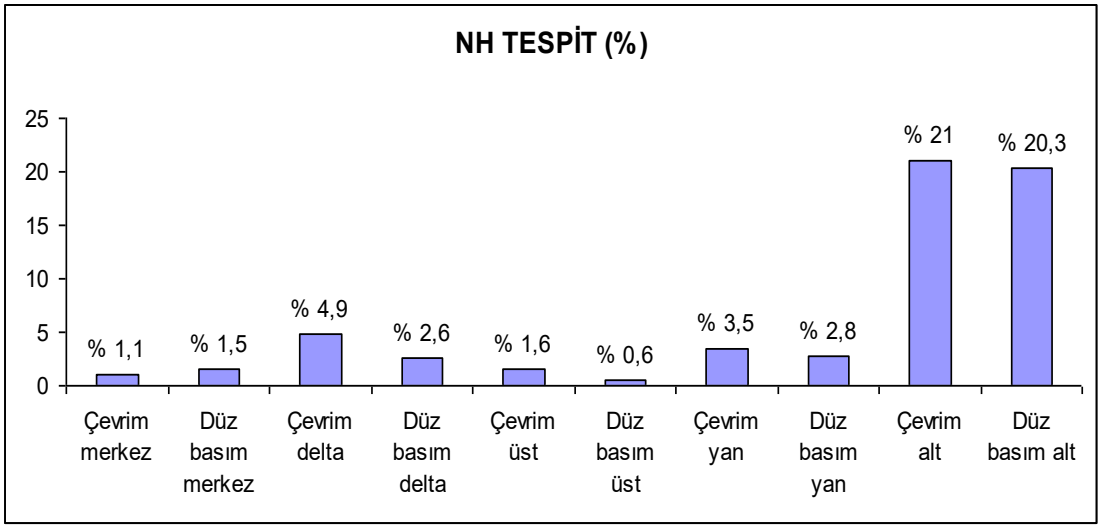
Çevrim izlerin merkez bölgesi dışında görüntüsel netlik açısından daha az homojenize yapıda olması, çevrim izlerin yapısından kaynaklanan bu olumsuzluğun, çevrim izlerden elde edilen olay yeri izlerinde (merkez haricindeki bölgelerde) kendisini göstermesi, **FH tespit oranlarının düşüklüğünün** sebebi olarak açıklanabilir. Diğer taraftan **düz basım izlerin** ise daha net ve homojenize görünüme sahip yapısı, düz basım olay yeri izi bölgelerinde kendisini göstermiş ve OPTES sorgusu sonucunda **FH tespit oranları daha yüksek** seviyelerde tespit edilmiştir.



Şekil 3.3. Bölgelere göre SSH tespit yüzdeleri

Olay yeri izinin sadece kendi kaynak izi ile irtibat durumları değerlendirildiğinde (Şekil 3.3); çevrim izlerin **üst** ve **yan** bölgelerinde oldukça yüksek oranda, **delta** ve **alt** bölgelerinde yine nispeten yüksek oranda irtibat sağlandığı görülmüştür. Düz basım izlerin tüm bölgeleri irtibat oranları ise birbirine yakın oranlarda seyretmektedir.

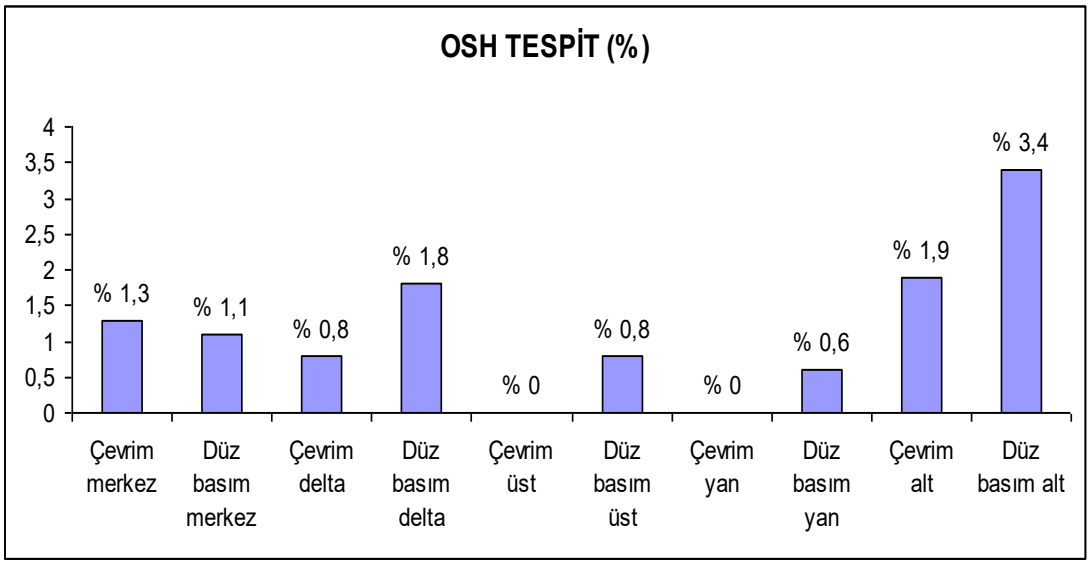
Çevrim izlerin görüntüsel netliğinin özellikle izin üst, yan ve alt bölgelerinde az ve izin homojenize yapısının belirtilen bölgelerde bozuk olması, OPTES sorgusunda diğer kaynak iz ile irtibat kurulamaması ve sadece kendi kaynak izi ile irtibat sonucunu doğurmuştur. Dolayısıyla **SSH irtibat oranları yüksek** olarak izlenmiştir. **Düz basım izlerin** ise nispeten daha net ve homojenize yapısı, sorgu sonucu **SSH irtibat oranlarının düşük** ancak birbirine daha yakın oranlarda seyretmesini sağlamıştır.



Şekil 3.4. Bölgelere göre NH tespit yüzdeleri

Bir olay yeri izinin OPTES'te kayıtlı iki kaynak izi ile de irtibat sağlanamaması (NH) **istenmeyen ve başarısızlık** olarak kabul edilen bir durumdur. Veriler değerlendirildiğinde; sorgu sonucu irtibat sağlanamama durumu, her iki iz türü için en yüksek oranda **alt** bölgelerde izlenmiştir.

Çevrim ve düz basım izler için parmak izi karakteristiği sayısının ve ayırt ediciliğin fazla olduğu diğer bölgelerde **NH (irtibat sağlanamama) oranı** düşük ve birbirine yakın oranlarda; parmak izi karakteristiği sayısının ve ayırt ediciliğin en az olduğu alt bölgelerde ise nispeten daha yüksektir (Şekil 3.4).

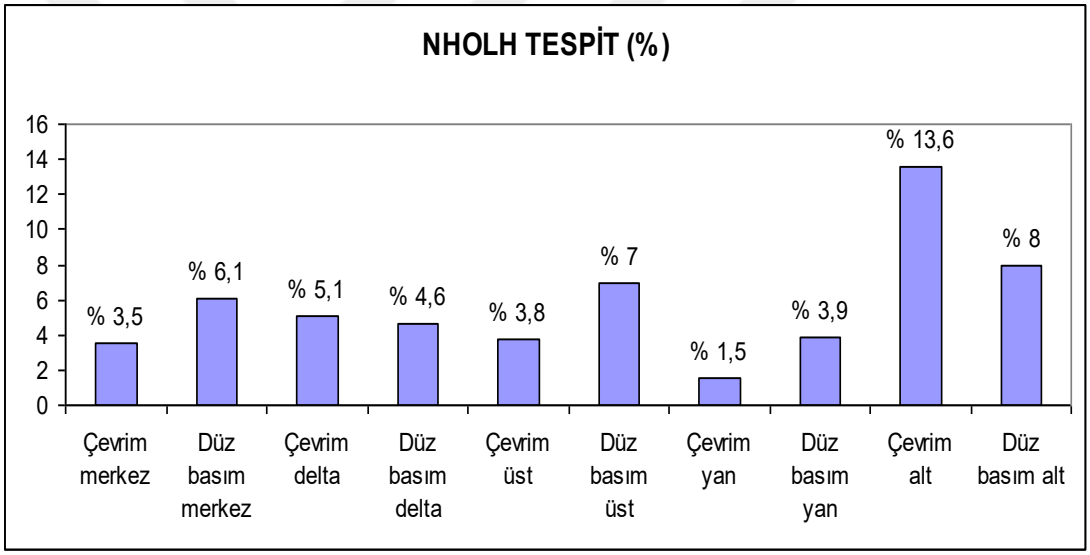


Şekil 3.5. Bölgelere göre OSH tespit yüzdeleri

Bir olay yeri izinin sorgu sonucunda; kendisinin ait olduğu kaynak izi değil de diğer kaynak izi ile irtibat sağlaması (OSH), **beklenmeyen bir durumdur**. Ancak bu durum genel anlamda OPTES sorgu irtibat oranlarının artırılmasında kullanılacak bir parametre olarak kabul edilebilir.

Çevrim ve düz basım izlerin bölge bazlı sorgu sonuçları değerlendirildiğinde (Şekil 3.5); OSH irtibat oranları birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Sonuçlar, çok küçük yüzdesel değerlerde elde edilmesine rağmen bu **çalışmaya temel teşkil eden hipotezi desteklemesi bakımından** oldukça önemlidir.

Olay yeri izlerinin elde edildiği bölgelerden bağımsız **OSH sorgu irtibat oranlarının ağırlıklı ortalaması %1,9** olarak bulunmuştur.



Şekil 3.6. Bölgelere göre NHOLH tespit yüzdeleri

Çalışmada, her iki kaynak iz ile irtibatı olmayan olay yeri izlerinin bölgeler bazında eş olay yeri izi irtibatı, yani her iki iz ile irtibatı olmayan (NH) olay yeri izinin, çevrim veya düz basım izler için eş olay yeri izinin sorgu irtibatı sağladığı durumlar da hesaplanmıştır (Grafik 3.6). Bu irtibatların çalışmanın ana hipotezini güçlendirdiği düşünülebilir. Ancak çalışmada, çevrim veya düz basım izlerin merkez (tüm izlerde tek merkez bölge alınmıştır) dışındaki delta, üst, yan ve alt bölgelerinde, birden fazla (en fazla iki) olay yeri izi elde edilmiştir. Buna dayalı olarak NHOLH tespiti yapılan sorgu sonuçlarında bu tespitin, iki farklı olay yeri izinin hangisinin sorgusuna bağlı olarak yapıldığı bilinmemektedir. Diğer bir ifadeyle izin fiziksel

konumunun tam olarak diğer izin konumu ile örtüşüp örtüşmediği tespit edilememektedir. Bu sebeple, NHOLH olarak bulunan irtibat oranları çalışmanın hipotezini desteklemek amacıyla dikkate alınmamıştır.

3.3. Parmak İzi Bölgelerine Göre İrtibat ve İrtibat Bileşen Hesaplamaları

Ayrıca, çalışmamız kapsamında, parmak izi merkez, delta, üst, yan ve alt bölgelerine göre; olay yeri izi-çevrim iz irtibatı, olay yeri izi-düz basım iz irtibatı ve irtibat sayılarının bileşeni alınarak bulunan irtibat oranları aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11. Parmak izi bölgelerine göre irtibat yüzdeleri

	Merkez Bölge	**Delta Bölgesi**	**Üst Bölge**	**Yan Bölge**	**Alt Bölge**	**Genel**
Çevrim İz- OY İzi İrtibatı	94,1	89,2	94,6	92,3	63,5	86.75
Düz Basım İz-OY İzi İrtibatı	91,3	91	91,6	92,8	68,2	86.98
Bileşen İrtibat Değeri	98,7	96,25	98,9	98,3	79,35	94.3

Parmak izi bölgeleri dikkate alınmadan, **7243 adet** olay yeri izinin tamamının sorgu sonucuna göre; olay yeri izi-çevrim iz irtibatı %86,75, olay yeri izi-düz basım iz irtibatı %86,98 ve irtibat sayılarının bileşeni alındığında irtibat oranı %94,3 olarak bulunmuştur.

4. TARTIŞMA

4.1. OPTES Sorgu Performansının Artırılması Amaçlı Çalışmalar

OPTES sorgusu sonucu, tespit/eşleşme/irtibat oranlarının yükseltilmesi ve tespit için harcanan zamanın azaltılması amacıyla AR-GE çalışmaları yapılmakta ve günümüz teknolojisinin imkanları bu amaçla, artan bir hızla kullanılmaya devam etmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, birinci grupta OPTES'in genel çalışma sistemini ve yazılım performanslarını iyileştirme çalışmalarına, ikinci grupta ise olay yeri izleri açısından sorgu ve tespit işlemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalara rastlanmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmalarının üçüncü boyutunda da, OPTES sisteminin bir diğer bileşeni olan bilgisayar teknolojilerinin geliştirilerek, parmak izi sistemleri ile uyumlu ve optimize hale getirilmesi için yapılan çalışmalar sayılabilir.

4.1.1. Yazılım Performansını Geliştirme Çalışmaları

1. Parmak izi sistem yazılımlarının tespit edilebilen eksikliklerinin giderilmesine yönelik çalışmalar (Kwan ve ark., 2015),

2. Büyük hacimli veritabanlarında karşılaşılan en önemli ihtiyaç olan sorgu ve tespitte hız ve doğruluğun artırılmasına yönelik çalışmalar (Peralta ve ark., 2014; 2016 ve 2017),

3. Tespitte aday listesinin kısaltılarak daha doğru ve daha kısa zamanda sonuç alınması amacıyla yapılan çalışmalar (Khodadoust ve Khodadoust , 2017),

4. Daha önce kaydedilen izlerin sınıflandırılması ve gruplandırılması suretiyle sadece ilgili gruptan sorgu yapılarak zaman kazanılmasına yönelik çalışmalar (Cao ve ark., 2013; Hung ve ark., 2011; Rajanna ve ark., 2010),

5. Sorguda çeşitli filtrelemeler yaparak daha hızlı sonuç almaya yönelik çalışmalar (Zhu ve ark., 2016),

6. Büyük hacimli veritabanlarının tespit doğruluğuna olumlu ve olumsuz etkilerinin araştırılması çalışmaları (Busey ve ark., 2014),

7. Veritabanında kayıtlı kişi parmak izlerinin, iz karakteristiklerine göre gruplandırılarak (Iloanusi, 2014) veya iz karakteristiklerinin geometrisi kullanılarak (Jayaraman ve ark. 2014) ya da sadece parmak izi görüntüsü ve yapısı dikkate alınarak (Shrivastava ve Shrivastava 2016) sorgulanması ile sorguda hızın artırılmasına yönelik çalışmalara rastlanmaktadır.

Bu ve benzeri kapsamda yapılan çalışmaların parmak izi sistemlerine adaptasyonu ile OPTES **on parmak izi** sorgusunda, tespite yönelik optimizasyon büyük oranda sağlanmıştır. Bununla birlikte, halen **olay yeri izi** sorgularında tespite yönelik başarı oranını artırma ihtiyacı devam etmekte ve bu amaca yönelik çalışmalar da yapılmaya devam edilmektedir. Olay yeri parmak izlerinin birçok olumsuz etki altında oluşan standart dışı yapısı, OPTES'te olay yeri izi sorgu ve tespit optimizasyonunun yüksek seviyelere taşınmasını güçleştirmekte ve yapılacak çalışmaları bu ihtiyaç alanına yönlendirmektedir. Bu sebeple literatürde, parmak izi sistemlerinin sorgu ve tespit işlemlerinin, olay yeri izleri açısından geliştirilmesi amacıyla yapılmış çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır.

4.1.2. Olay Yeri İzlerinin Tespit Performansının İyileştirilmesi Çalışmaları

1. Tespit edilemeyen veya tespit edilmesine rağmen net olarak tanımlanamayan parmak izi karakteristik özelliklerinin tanımlanabilmesi sayesinde parmak izi sorgusunda tespit ihtimalinin artırılması (Alonso ve ark., 2013 ve Peralta ve ark., 2014),

2. Parmak izi karakteristik özelliklerinin, kullanıcı kaynaklı olarak; mevcut olduğu halde tespit edilememesi veya mevcut olmadığı halde tespit edildiğinin değerlendirilmesi gibi hataların önüne geçilmesi ve böylece parmak izi sorgusunda doğru tespitlere ulaşılması (Chikkerur ve ark., 2005 ve Hong ve ark., 1998),

3. Olay yeri izlerinin OPTES sorgusu öncesi, yönünün doğru şekilde tespit edilmesi, bu amaçla merkez ve delta bölgelerinin bulunarak parmak izi sorgusunun daha ideal şartlarda yapılması (Hou ve ark., 2012),

4. Olay yeri izinin önceden yapılacak kalite tayinine göre sorguya dahil edilmesi veya hariç bırakılması uygulamasıyla tespit yüzdesinin artırılması (Neumann ve Armstrong, 2016),

5. Düşük kalitedeki olay yeri izinin OPTES sorgusu öncesi papil kalitesi, papil akışı renk geçişi, dalga boyu görüntü haritaları ve papil iskeleti çıkarılması işlemleri uygulanması sonrası sorgulanması (Jain ve Feng, 2011),

6. Olay yeri izinin kaldığı yüzeyde yer alan ve olay yeri izinin kalitesini düşüren ve bozan arka plan görüntülerinin giderilerek, daha net görüntüdeki olay yeri izi üzerinden sorgu yapılması (Arora ve ark., 2014),

7. Sorgu öncesi olay yeri izlerinin görüntülerinin çeşitli yöntemlerle geliştirilmesi, papil görüntü kalitesinin artırılması ve buna bağlı olarak sorgu performansının yükseltilmesi (Dalrymple ve ark., 2002; Willis ve Myers, 2001; Sherlock ve ark., 1994; Nanni ve Lumini, 2009 ve Speir ve Hietpas, 2014),

8. Parmak izi ile parmak damar (Khila ve ark., 2016) veya parmak eklem yapılarının konfigürasyonu kurularak (Yang ve Zhang, 2012) ya da papil hatları üzerinde bulunan porların kullanımı sayesinde (Vatsa ve ark., 2009) sorgu sonuçlarının iyileştirilmesi,

9. Dışarıdan müdahale yöntemleriyle değiştirilmiş (Selvarani ve ark., 2014) veya sahte olarak üretilmiş (Huang ve ark., 2015 ve Chen ve ark., 2014) parmak izlerinin OPTES sorgusunda tespiti ve kullanıcı tarafından ayıklanabilmesi (Espinoza ve ark., 2011),

10. Parmak izinin yüzeye bırakılması esnasında hareket veya basınca bağlı olarak parmak izi papil hatlarında meydana gelen bozulmaların tespiti (Fagert ve Morris, 2015) ve bu olumsuzlukların giderilerek mukayese edilebilirlik ve sorgu tespit yüzdelerinin artırılması (Kalka ve Hicklin, 2014),

11. Sorgu sonucu yapılan parmak izi mukayesesinde, eşleşmeyen (boşta kalan) parmak izi karakteristikleri kullanılarak tespit kararının güçlendirilmesi (Zhang ve ark., 2016),

12. OPTES sorgusunda olay yeri izi ve tespiti yapılan kişi izi arasındaki algoritmik ilişkinin yazılım tarafından verilen puan/skora göre değerlendirilerek sonuca gidilmesi (Anthonioz ve Champod, 2014),

13. Papil yönü, papil aralığı ve minuşya yapısı arasındaki ilişkilerin kurulması ve bunların sorgu sonucuna olumlu olarak yansıtılması (Abraham ve ark., 2013a ve Champod ve ark., 2015),

14. İstatistik tabanlı modellemelerin (Abraham ve ark., 2013b ve Ulery ve ark., 2013) olay yeri parmak izi sorgusunu geliştirmeye yönelik kullanılması vb. çalışmalarda, OPTES tespit performansı açısından sorun alanı olan olay yeri izleri konusuna, araştırmacılar tarafından yoğun ilgi gösterildiği ve çözüme katkı sunmak açısından gayret sarf edildiği görülmektedir.

4.1.3. Donanım Teknolojileri Optimizasyon Çalışmaları

Parmak izi inceleme, mukayese ve sorgu tekniklerinin iyileştirilmesi amacıyla OPTES yazılımlarının geliştirilmesine yönelik çalışmaların yanında; sistem bileşeni olarak kullanılan bilgisayar donanım teknolojilerinin (işlemci fonksiyonları, tarama/scanning teknolojileri vb.) parmak izi sistemleri ile uyumlu ve optimize hale getirilmesi için yapılan çalışmalar da (Bahaa-Eldin, 2013) bulunmaktadır. İlave olarak, parmak izi sorgu ve tespitine yönelik geliştirilen ve kullanılan algoritmaların güçlü ve zayıf taraflarını karşılaştıran, eksik hususları tamamlama ve geliştirme yoluyla parmak sistemlerinde doğru ve hızlı tespite imkan veren teknolojilere katkı sunan mühendislik çalışmaları da (Peralta ve ark., 2015; Lastra ve ark., 2015 ve Kumar ve Vikram, 2010) bu amaca yönelik çalışmalar arasında sayılabilir.

Bu alanda, OPTES algoritmalarının geliştirilmesi ve sorgu performansının artırılmasına yönelik çok sayıda çalışmanın yanında, yapılan çalışmaların eksik ve

hatalı yönlerini ortaya koyan eleştirel çalışmalara da (Haber ve Haber, 2014) rastlamak mümkündür.

4.2. Yapılan Çalışmanın Benzer Nitelikli Çalışmalarla Kıyaslanması

Parmak izi literatüründe sistem sorgu performanslarının artırılmasına yönelik çok sayıda ve farklı nitelikte çalışma bulunduğu yukarıda belirtilmiştir. Bununla birlikte, olay yeri izlerinin sistem sorgu performansında; on parmak izlerinin **çevrim ve düz basım izler** şeklindeki iki farklı format yapısının etkisini doğrudan araştıran daha az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır.

Bu çalışmalardan birisi, Feng ve arkadaşları (2009) tarafından yapılmış ve çevrim ve düz basım izlerin sistem sorgusunda ayrı ayrı irtibat yüzdeleri ve irtibat sayılarının bileşen yüzdelerinin değerlendirilmesiyle sorgu performansının ne seviyede artırılabileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışmada, kullanıma açık veritabanından (ELFT-EFS Public Challenge Dataset Release) hazır olarak araştırmacılara sunulan 230 olay yeri izi ve 418 on parmak izi (çevrim ve düz basım) temin edilmiş, olay yeri izleri kullanıcı tarafından, on parmak izleri ise parmak izi sistemi tarafından otomatik olarak işlenmek suretiyle otomatik sistem sorgusu yapılmış ve sistem sorgusu sonucunda; olay yeri izi-düz basım irtibatı % 57,8; olay yeri-çevrim iz irtibatı %70,4 oranlarında tespit edilmiştir. Olay yeri izinin çevrim-düz basım on parmak izleri ile irtibat sayılarının bileşeni alındığında irtibat oranının %83'e yükseldiği görülmüştür.

Yapılan benzer başka bir çalışmada ise Swann (2006), olay yeri izi-çevrim iz irtibatı ve olay yeri izi-düz basım iz irtibatı sorgularına yönelik çalışma yapan kurumların çalışmalarını birbiriyle kıyaslamıştır. Kıyaslamaya dayalı çalışmada, üç farklı kurumun olay yeri izi-çevrim iz irtibat ve olay yeri izi-düz basım iz irtibat sonuçları sırasıyla % 54,4 ve % 38,8, % 97,1 ve % 70,9 ile % 93,6 ve % 63,2 olarak verilmiştir.

Çalışmamızda ise hazırlanan ve parmak izi bölgeleri (merkez, delta, üst, yan ve alt bölgeler) bazında kategorilere ayrılan 7243 adet olay yeri izi; bu izlerin oluşturulduğu 1538 adet kaynak çevrim ve düz basım on parmak izlerinin yanında,

halihazırda kayıtlı yaklaşık 10.000 adet on parmak izinin bulunduğu OPTES veritabanında sorgulanmıştır. Kaynak on parmak izi bilinen olay yeri izinin, çevrim iz veya düz basım iz irtibat durumları (FH+SSH) ve irtibat bileşenleri (FH+SSH+OSH) performansı hesaplanmıştır.

Çalışmamız kapsamında, parmak izi bölgelerine göre; olay yeri izi-çevrim iz irtibatı, olay yeri izi-düz basım iz irtibatı ve irtibat sayılarının bileşeni alındığında irtibat oranları; **merkez bölge** için çevrim iz-OY izi irtibatı %94,1, düz basım iz-OY izi irtibatı %91,3 ve bileşen irtibat değeri %98,7; **delta bölgesi** için çevrim iz-OY izi irtibatı %89,2, düz basım iz-OY izi irtibatı %91 ve bileşen irtibat değeri %96,25; **üst bölge** için çevrim iz-OY izi irtibatı %94,6, düz basım iz-OY izi irtibatı %91,6 ve bileşen irtibat değeri %98,9, **yan bölge** için çevrim iz-OY izi irtibatı %92,3, düz basım iz-OY izi irtibatı %92,8 ve bileşen irtibat değeri %98,3 ve **alt bölge** için çevrim iz-OY izi irtibatı %63,5, düz basım iz-OY izi irtibatı %68,2 ve bileşen irtibat değeri %79,35 olarak elde edilmiştir.

Parmak izi bölgeleri dikkate alınmadan yapılan genel değerlendirmede ise; olay yeri izi-çevrim iz irtibatı %86,75, olay yeri izi-düz basım iz irtibatı %86,98 ve irtibat sayılarının bileşeni alındığında %94,3 değeri bulunmuştur. Çalışmamızın kapsamı ve elde edilen sonuçlar daha önce literatüre giren çalışmalarla karşılaştırıldığında; sorguya dahil edilen kişi parmak izi ve olay yeri izi sayısı bakımından daha kapsamlı bir çalışma olduğu, olay yeri izi tespit performansının artırılması bakımından ise elde edilen sayısal değer ve oranların önceki çalışmalara nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çalışmamızın asıl odak noktası, (FH+SSH) irtibat performansından farklı olarak, sadece diğer kaynak iz ile irtibat (OSH) performansının katkısının da tespit edilmesi ve bu katkının her bir parmak izi bölgesi için bir parametre olarak hesaplanması ve çalışmaya dahil edilmesidir. Böylece olay yeri izlerinin çevrim ve düz basım izlerle yapılan parmak izi sistemi sorgusunda, beklenen sorgu irtibatların daha ötesinde ilave bir performans katkısı sağlanmaktadır. OSH sorgu irtibat oranlarının **olay yeri izi sorgu sonuçlarına ilave katkısının**, olay yeri izlerinin elde edildiği merkez, delta, üst, yan ve alt bölgelerinden bağımsız ortalama %1,9 bulunması ile OPTES sorgu irtibat oranlarının artırılabileceği hipotezi sayısal olarak

kanıtlanmaktadır. Yapılan genel literatür araştırmasında; kurulan ve çalışmamız sonucunda kanıtlanan hipotezi destekleyen bir çalışmaya veya benzerine rastlanmamıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarının her iki boyutuna göre; kişinin aynı parmağının, çevrim ve düz basım formatında olmak üzere iki farklı teknikle alınmış parmak izlerinin birbirini tamamlayıcı olduğu ve geliştirilecek yazılımlar yardımıyla; OPTES sorgusunda, biri diğerinin eksik ve dezavantajlı yönlerini tamamlayıcı ve alternatifi olacak şekilde kullanıldığında, olay yeri izleri ile irtibat sağlama işlemlerinde performansı artırıcı katkısının olacağı tespit edilmiştir.

Çalışmamızın daha önce literatürde yer bulan ve detayları Tartışma Bölümünde açıklanan çalışmalara göre detaylı ve kapsamlı bir benzeri olan ilk bölümüne göre; olay yeri izi-çevrim iz irtibatı ve olay yeri izi-düz basım iz irtibat değerleriyle, irtibat sayılarının bileşen değerleri karşılaştırıldığında, irtibat oranlarının ilk irtibat değerlerine göre bölgeler bazında yaklaşık **%4** ile **%16** oranlarında daha yüksek değerlerde elde edildiği görülmüştür. Parmak izi bölgeleri dikkate alınmadan tüm bölgelerin ortalaması üzerinden yapılan genel değerlendirmede ise irtibat sayılarının bileşen değerinin ilk irtibat değerlerine göre yaklaşık **%7 artış** gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışmamızın literatüre yenilik getirdiği değerlendirilen bölümüne göre ise; Bulgular Bölümünde parmak izi bölgelerine göre belirtilen ve çalışmanın elde edilen en önemli bulgusu olarak başlangıçta kurulan hipotezi destekleyen **OSH sorgu irtibat oranlarının,** olay yeri izlerinin elde edildiği bölgelerden bağımsız **ağırlıklı ortalaması %1,9** olarak bulunmuştur. Böylece, öncelikle temel hipotezimiz olan "aynı kişinin çevrim ve düz basım izlerin alınması, OPTES'te saklanması ve birbirini destekleyecek bir algoritma yardımıyla sorguya dahil edilmesi gerekliliği" kanıtlanmıştır. Buna göre OPTES yazılım algoritmalarının bu amaca uygun olarak kurgulanması durumunda, olay yeri izi-kişi parmak izi irtibat oranlarında sistem sorgu performansının yaklaşık olarak %2 oranında artacağı söylenebilir.

Olay yeri izlerinin yapısından kaynaklanan sorunlar ve buna bağlı olarak yapılan tüm geliştirme çalışmalarıyla birlikte OPTES sorgusunda olay yeri izi irtibat performansının %70-80 seviyelerinde kaldığı düşünüldüğünde, çalışmamız sonucunda mevcut irtibat performans oranlarının yaklaşık %2 seviyesinde (%1,9)

artırılabileceğinin ortaya konulması önemli bir kazanım sayılmalıdır. Bu kazanımla, suç soruşturmasında, pratikte aydınlatılması başka türlü mümkün olmayan her yüz olaydan ikisinin daha parmak izi delili ile aydınlatılabileceği, ülkemizde her yıl fail meçhul olarak kayıtlara geçen çok sayıda olay olduğu dikkate alındığında, parmak izi delili ile aydınlatılma oranının 2 puan artırılmasının adaletin tecellisinde önemli ölçüde katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

ÖZET

Düz Basım ve Çevrilerek Alınan Parmak İzlerinin Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemi (OPTES)'nde Tespit Performanslarının Karşılaştırılması

Kişilerden alınan parmak izleri ve olay yeri izleri, Otomatik Parmak İzi Tespit Sistemleri (OPTES)'nde sorgulanır, kaydedilir ve saklanır. Yetkili kurumlar tarafından kişilerin on parmak izlerinin her biri, çevrilerek (tırnaktan tırnağa) ve düz basım formatında alınarak OPTES'e kaydedilir. Bu iki tip parmak izi birbirini tamamlar çünkü; çevrim izler, daha geniş alanı kapsamakta ve daha fazla sayıda karakteristik özellik ihtiva etmekte iken düz basım izler daha net görünüme sahip ve daha az bozulmuş yapıdadır. Bu sebeple aynı parmağın iki farklı teknikle alınmış parmak izlerinin, olay yeri izleri ile irtibat sağlamak amacıyla OPTES sorgusunda birlikte kullanıldığında, irtibat performansını artırıcı katkısının olacağı bilinmektedir. Bu çalışmada, öncelikle 105 kişiden çevrim ve düz basım olmak üzere toplam 2100 parmak izi alınarak OPTES'e kaydedilmiştir. Daha sonra sistem yazılımı yardımıyla aynı parmak izlerinden 7243 adet olay yeri izleri oluşturulmuştur. Parmak izlerinin merkez, delta, üst, yan ve alt bölgelerinden oluşturulan olay yeri izleri, çevrim ve düz basım parmak izlerinin kayıtlı olduğu sistemde sorgulanmıştır. Her bir olay yeri izi için parmak izi bölgesine göre FH, SSH, OSH, NHOLH ve NH irtibat/tespit durumları elde edilmiştir. Çalışma sonucunda OPTES'te çevrim ve düz basım izlerin uygun sorgu algoritması ile birlikte kullanılması durumunda, olay yeri izlerinin irtibat ortalamasının **%1,9** oranında artırılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: OPTES, düz basım parmak izi, çevrim parmak izi, olay yeri izi, irtibat/tespit/eşleşme.

SUMMARY

Comparing Hit Performance For Plain and Rolled Fingerprints in Automated Fingerprint Identification System (AFIS)

Both fingerprints of individuals and latents are registered, stored and searched in Automated Fingerprint Identification Systems (AFIS). Authorized agencies routinely collect both rolled and plain fingerprints of all the ten fingers of individuals. These two types of fingerprints complement each other, since rolled fingerprints are of larger size and contain more minutiae, and plain fingerprints are less affected by distortion and have clearer ridge structure. It is widely known in the fingerprint community that searching both rolled and plain fingerprints can improve the accuracy of latent matching and it is assumed that searching in that way may increase the hit performance of AFIS. In this study, both rolled and plain fingerprints of all the ten fingers of 105 individuals-2100 single fingerrpints are collected and registered to AFIS. Then 7243 latents are reproduced with the help of AFIS software that are known to be part of collected rolled or plain fingerprints. Reproduced latents from core, delta, upper, side (left/right) and lower part of the original fingerprints are searched against known ten prints database. Hit percentages of latents are found for any parts accorgding to FH, SSH, OSH, NHOLH and NH performances. As a result, it is detected that hit performance of latents may increase **%1,9** in avarage if a suitable search algoritm used for rolled and plain fingerprints together.

Key words: AFIS, plain fingerprints, rolled fingerprints, latent, hit.

KAYNAKLAR

2559 Sayılı Polis Vazife ve Salahiyet Kanunu (Resmi Gazete Yayım Tarihi ve Sayısı: 04 Temmuz 1934-2751-Değişik: 02 Haziran 2007-5681/2 md.)

5271 Sayılı Ceza Muhakemesi Kanunu (Resmi Gazete Yayım Tarihi ve Sayısı: 04 Aralık 2004-25673 Değişik: 25Mayıs 2005-5353/5 md.)

ABRAHAM J, CHAMPOD C, LENNARD C, ROUX C (2013a). Spatial analysis of corresponding fingerprint features from match and close non-match populations. *Forensic Science International*, **230:** 87–98.

ABRAHAM J, CHAMPOD C, LENNARD C., ROUX C (2013b). Modern statistical models for forensic fingerprint examinations: A critical review. *Forensic Science International*, **232:** 131–150.

ALONSO AG, PALANCAR JH, REINA ER, BRISENO AM (2013). Indexing and retrieving in fingerprint databases under structural distortions. *Expert Systems With Applications*, **40:** 2858–2871.

ANTHONIOZ NM, CHAMPOD C (2014). Evidence evaluation in fingerprint comparison and automated fingerprint identification systems-modeling between finger variability. *Forensic Science International*, **235:** 86–101.

ARORA S, LIU E, CAO K, JAIN, AK (2014). Latent fingerprint matching: Performance gain via feedback from exemplar prints. *IEEE Transactıons On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, vol. 36, no. 12.

ASHBAUGH DA (1999). Quantitative–qualitative friction ridge analysis: An introduction to basic and advanced ridgeology, *CRC Press*.

BAHAA-ELDIN AM (2013). A medium resolution fingerprint matching system. *Ain Shams Engineering Journal*, **4:** 393–408.

BARNES JG (2014). History. *The Fingerprint Sourcebook*, Chapter 1, pp: 3-6.

BUSEY T, SILAPIRUTI A, VANDERKOLK J (2014). The relation between sensitivity, similar non-matches and database size in fingerprint database searches. *Law, Probability and Risk*, **13:** 151–168.

CAO K, YANG X, CHEN X, TAO X, ZANG Y, LIANG J, TIAN J (2012). A novel global feature for minutiae-based fingerprint matching. *Pattern Recognition Letters*, **33(10):** 1411–1421.

CAO K, PANG L, LIANG J, TIAN J (2013). Fingerprint classification by a hierarchical classifier. *Pattern Recognition*, **46:** 3186–3197.

CAPPELLI R, FERRARA M, MALTONI D (2010). Minutia cylinder-code: A new representation and matching technique for fingerprint recognition. *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, **32(12):** 2128–2141.

Ceza Muhakemesinde Beden Muayenesi, Genetik İncelemeler ve Fizik Kimliğin Tespiti Hakkında Yönetmelik (Resmi Gazete Yayım Tarihi ve Sayısı: 01 Haziran 2005-25832)

CHAMPOD C, YOO M, GENESSAY T, LANGENBURG G, NEUMANN C (2015). Quantifying the weight of fingerprint evidence through the spatial relationship, directions and types of minutiae observed on fingermarks. *Forensic Science International*, **248:** 154–171.

CHEN S, CHANG S, HUANG Q, HE J, WANG H (2014). SVM-based synthetic fingerprint discrimination algorithm and quantitative optimization strategy. *Plos One Journal*, Vol. 9, Issue 10.

CHEN X, TIAN J, YANG X (2006). A new algorithm for distorted fingerprints matching based on normalized fuzzy similarity measure. *IEEE Transactions On Image Process*, **15(3):** 767–776.

CHEN F, ZHOU J, YANG C (2009). Reconstructing orientation field from fingerprint minutiae to improve minutiae matching accuracy. *IEEE Transactions On Image Process* **18(7):** 1665–1670.

CHIKKERUR S, GOVINDARAJU V, PANKANTI S, BOLLE RM, RATHA NK (2005). Novel approaches for minutiae verification in fingerprint images. *WACV/Motion*, pp. 111–116.

COLE SA (2001). Suspect identities: A history of fingerprinting and criminal identification. *Harvard University Press*, pp. 101-122.

DALRYMPLE B, SHAW L, WOODS K (2002). Optimized digitial recording of crime scene impressions. *Journal of Forensic Identification*, **52 (6):** 750–761.

DENG H, HUO Q (2005). Minutiae matching based fingerprint verification using delaunay triangulation and aligned-edge-guided triangle matching. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3546: 270–278.

DROR IE, CHAMPOD C, LANGENBURG G, CHARLTON D, HUNT H, ROSENTHAL R (2011). Cognitive issues in fingerprint analysis: Inter- and intra-expert consistency and the effect of a 'target' comparison. *Forensic Science International*, **208:** 10–17.

DROR IE, CHARLTON D, PERON AE (2006). Contextual information renders experts vulnerable to making erroneous identifications. *Forensic Science International*, **156:** 74–78.

DROR IE, MNOOKIN JL (2010). The use of technology in human expert domains: Challenges and risks arising from the use of automated fingerprint identification systems in forensic science. *Law, Probability and Risk*, **9:** 47-67.

DROR IE, WERTHEIM K, MACKENZIE PF, WALAJTYS J (2012). Biasing effects of AFIS: Contextual information on human experts. *Journal of Forensic Science*, Vol. 57.

EDMOND G, THOMPSON MB, TANGEN JM (2014). A guide to interpreting forensic testimony: scientific approaches to fingerprint evidence. *Law, Probability and Risk*, Vol. 13: Issue:1.

ESPINOZA M, CHAMPOD C, MARGOT P (2011). Vulnerabilities of fingerprint reader to fake fingerprints attacks. *Forensic Science International*, **204:** 41–49.

EVETT I, WILLIAMS RL (1996). A review of the sixteen points fingerprint standard in England and Wales. *Journal of Forensic Identification*, **46 (1):** 49–73.

FAGERT M, MORRIS K (2015). Quantifying the limits of fingerprint variability. *Forensic Science International*, **254:** 87–99.

FAULDS H. (1880). On the skin-furrows of the hand. *Nature*, **22:** 605.

FENG J (2007). Combining minutiae descriptors for fingerprint matching. *Pattern Recognition*, **41(1):** 342–352.

FENG J, JAIN AK (2011). Fingerprint reconstruction: From minutiae to phase. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **33(2):** 209–223.

FENG J, OUYANG Z, CAI A (2006). Fingerprint matching using ridges. *Pattern Recognition,* **39 (1):** 2131–2140.

FENG J, YOON S, JAIN AK (2009). Latent fingerprint matching: Fusion of rolled and plain fingerprints. *Department of Computer Science and Engineering,* Michigan State University.

GAO X, CHEN X, CAO J, DENG Z, LIU C, FENG J (2010). A novel method of fingerprint minutiae extraction based on gabor phase. *Proceedings of The International Conference On Image Processing, ICIP*, pp. 3077–3080.

GITTELSON S, BOZZA S, BIEDERMANN A, TARONI F (2013). Decision-theoretic reflections on processing a fingermark. *Forensic Science International,* **226:** 42–47.

HABER RN, HABER L (2014). Experimental results of fingerprint comparison validity and: A review and critical analysis. *Science and Justice,* **54:** 375–389.

HALL LJ, PLAYER E (2008). Will the introduction of an emotional context affect fingerprint analysis and decision-making? *Forensic Science International,* **181:** 36–39.

HE X, TIAN J, LI L, HE Y, YANG X (2007). Modeling and analysis of local comprehensive minutiae relation for fingerprint matching. *IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics,* Part B: Cybernetic **37(5):** 1204–1211.

HEFETZ I, LIPTZ Y, VATURI S, ATTIAS D (2016). Use of AFIS for linking scenes of crime. *Forensic Science International* **262:** 25–27.

HERSCHEL WJ (1916). The origin of finger-printing . *Nature,* **98:** 268.

HICKLIN RA, BUSCAGLIA J, ROBERTS MA (2013). Assessing the clarity of friction ridge impressions. *Forensic Science International,* **226:** 106–117.

HONG L, WAN Y, JAIN A (1998). Fingerprint image enhancement: Performance evaluation. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence,* **20(8):** 777–789.

HOU Z, LAM HK, YAU WY, WANG Y (2012). A variational formulation for fingerprint orientation modeling. *Pattern Recognition,* **45:** 1915–1926.

HU C, YIN J, ZHU E, CHEN H, LI Y (2010). A composite fingerprint segmentation base on log-gabor filter and orientation reliability. *Conference Paper in Internatıonal Conference on Image Processıng.*

HUANG Q, CHANG S, LIU C, NIU B, TANG M, ZHOU Z (2015). Anevaluation of fake fingerprint databases utilizing SVM classification. *Pattern Recognition Letters*, **60–61:** 1–7.

HUNG C, LIUNG J, YI C (2011). Optical sensor measurement and biometric-based fractal pattern classifier for fingerprint recognition. *Expert Systems with Applications,* **38(5):** 5081–5089.

ILOANUSI ON (2014). Fusion of finger types for fingerprint indexing using minutiae quadruplets. *Pattern Recognition Letters*, **38:** 8–14.

INTERPOL (2009). International Criminal Police Organization, Disaster victim identification guide, 16–23.

JAIN AK, FENG J (2011). Latent fingerprint matching. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence,* Vol. 33: No. 1.

JAIN A, HONG L, BOLLE R (1997). On-line fingerprint verification. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence,* Vol. 19: No. 4.

JAIN AK, HONG L, PANKANTI S, BOLLE R (1997). An identity-authentication system using fingerprints. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence,*, Vol. 85: No. 9.

JAIN AK, PRABHAKAR S, HONG L, PANKANTI S (2000). Filterbank-based fingerprint matching. *IEEE Transactions On Image Process* , **9(5):** 846–895.

JAYARAMAN U, GUPTA KA, GUPTA P (2014). An efficient minutiae based geometric hashing for fingerprint databases. *Neurocomputing*, **137:** 115–126.

JIANG X, YAU W (2000). Fingerprint minutiae matching based on the local and global structures. *Proceeding Of The 15th International Conference on Pattern Recognition*, Vol.2: 1038–1041.

KALKA ND, HICKLIN RA (2014). On relative distortion in fingerprint comparison. *Forensic Science International*, **244:** 78–84.

KHODADOUST J, KHODADOUST AM (2017). Fingerprint indexing based on minutiae pairs and convex core point. *Pattern Recognition*, **67:** 110–126.

KIHELA SK, ABRISHAMBAF R, MONTEIRO JL, BENYETTOU M (2016). Multimodal fusion of the finger vein, fingerprint and the finger-knuckle-print using kernel fisher analysis, *Applied Soft Computing*, **42:** 439–447.

KUMAR R, VIKRAM BRD (2010). Fingerprint matching using multi-dimensional ANN. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **23:** 222–228.

KWAN PW, WELCH MC, FOLEY JJ (2015). A knowledge-based decision support system for adaptive fingerprint İdentification that uses relevance feedback. *Knowledge-Based Systems*, **73:** 236–253.

LABATI RD, GENOVESE A, PIURI V, SCOTTI F (2013). Contactless fingerprint recognition: a neural approach for perspective and rotation effects reduction. *Proceedings of the IEEE Workshop On Computational Intelligence In Biometrics and Identity Management (CIBIM)*, pp: 22–30.

LANGENBURG G (2014). Scientific research supporting the foundations of friction ridge examinations. *The Fingerprint Sourcebook*, Chapter 14, pp: 21-24.

LANGENBURG G, CHAMPOD C, GENESSAY T (2012). Informing the judgments of fingerprint analysts using quality metric and statistical assessment tools. *Forensic Science International*, **219:** 183–198.

LANGENBURG G, HALL C, ROSEMARIE Q (2015). Utilizing AFIS searching tools to reduce errors ın fingerprint casework. *Forensic Science International*, **257:** 123–133.

LASTRA M, CARABANO J, GUTIERREZ PD, BENITEZ JM, HERRERA F (2015). Fast fingerprint identification using GPUs. *Information Sciences*, **301:** 195–214.

LERNER KL, LERNER BW (2006). Automated fingerprint identification system (AFIS). *World of Forensic Science*, Vol.1: 5-53.

MALTONI, D, MAIO D, JAIN AK, PRABHAKAR, S (2009). Handbook of fingerprint recognition. 2nd Edition Springer-Verlag.

MOSES KR (2014). Automated fingerprint identification system (AFIS). *The Fingerprint Sourcebook*, Chapter 6, pp: 3-4.

MUSTONEN V, HAKKARAINEN K, TUUNAINEN J, POHJOLA P (2015). Discrepancies in expert decision-making in forensic fingerprint examination. *Forensic Science International*, **254:** 215–226.

NAGAR A, CHOI H, JAIN AK (2012). Evidential value of automated latent fingerprint comparison: An empirical approach. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol. 7: No. 6.

NANNI L, LUMINI A (2009). Descriptors for image-based fingerprint matchers, *Expert Systems with Applications,* **36:** 12414–12422.

NEUMANN C, ARMSTRONG DE, WU T (2016). Determination of AFIS ‘‘sufficiency’’ in friction ridge examination. *Forensic Science International*, **263:** 114–125.

NEUMANN C, GARCIA IM, LANGENBURG G, KOSTROSKI J, SKERRETT JE, KOOLEN M (2011). Operational benefits and challenges of the use of fingerprint statistical models: A field study. *Forensic Science International,* **212:** 32–46.

NIJ (2005). National Institute of Justice, Department of Justice (U.S), Mass fatality incidents: A guide for human forensic identification, *Special Report,* 33-34.

OKTEM H, KURKCUOGLU A, PELIN IC, YAZICI AC, AKTAS G, ALTUNAY F (2015). Sex differences in fingerprint ridge density in a Turkish young adult population: A sample of Baskent University. *Journal of Forensic and Legal Medicine,* **32:** 34–38.

OSTERBURG JW (1964). An inquiry into the nature of proof: The identity of fingerprints. *Journal of Forensic Science,* **9 (4):** 413–427.

PAULINO AA, FENG J, JAIN AK (2013). Latent fingerprint matching using descriptor-based hough transform. *IEEE Transactions On Information Forensics and Security*, Vol. 8: No. 1.

PANKANTI S, PRABHAKAR S, JAIN AK (2002). On the individuality of fingerprints. *IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **24(8):** 1010–1025.

PARZIALE G, DIAZ-SANTANA E (2006). The surround imager: A multi-camera touchless device to acquire 3D rolled-equivalent fingerprints. *International Conference on Biometrics*, pp: 244–250.

PERALTA D, GALAR M, TRIGUERO I, HURTADO OM, BENITEZ JM, HERRERA F (2014). Minutiae filtering to improve both efficacy and efficiency of fingerprint matching algorithms. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **32:** 37–53.

PERALTA D, GALAR M, TRIGUERO I, PATERNAIN D, GARCIA S, BARRENECHEA E, BENITEZ JM, BUSTINCE H, HERRERA F (2015). A survey on fingerprint minutiae-based local matching for verification and identification: Taxonomy and experimental evaluation. *Information Sciences,* **315:** 67–87.

PERALTA D, TRIGUERO I, GARCIA S, HERRERA F, BENITEZ JM (2016). DPD-DFF: A dual phase distributed scheme with double fingerprint fusion for fast and accurate ıdentification in large databases. *Information Fusion*, **32:** 40–51.

PERALTA D, TRIGUERO I, GARCIA S, SAEYS Y, BENITEZ JM, HERRERA F (2017). Distributed incremental fingerprint identification with reduced database penetration rate using a hierarchical classification based on feature fusion and selection. *Knowledge-Based Systems,* **126:** 91–103.

PERALTA D, TRIGUERO I, REILLO RS, HERRERA F, BENITEZ JM (2014). Fast fingerprint identification for large databases. *Pattern Recognition,* **47:** 588–602.

POLSON CJ (1951). Finger prints and finger printing: An historical study. *Journal of Criminal Law and Criminology*, **41:** 690.

QUEKA C, TANA KB, SAGARB VK (2001). Pseudo-outer product based fuzzy neural network fingerprint verification system. *Neural Network,* **14(3):** 305–323.

RADICK G (2002). A life of Sir Francis Galton. *Heredity,* **89:** 328.

RAJANNA U, EROL A, BEBIS G (2010). A comparative study on feature extraction for fingerprint classification and performance improvements using rank-level fusion. *Pattern Analysis and Applications,* **13(3):** 263–272.

RATHA N, BOLLE R (2004). Automatic fingerprint recognition systems. *Springer-Verlag,* pp.10-14.

RATHA NK, CHEN S, JAIN AK (1995). Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images. *Pattern Recognition,* **28(11):** 1657–1672.

RHODES HTF (1956). Alphonse Bertillon: Father of scientific detection.

SCHIFFER B, CHAMPOD C (2007). The potential (negative) influence of observational biases at the analysis stage of fingermark individualisation. *Forensic Science International*, **167:** 116–120.

SELVARANI S, JEBAPRIYA S, MARY RS (2014). Automatic identification and detection of altered fingerprints. *International Conference on Intelligent Computing Applications.*

SHERLOCK B, MONRO D, MILLARD K (1994). Fingerprint enhancement by directional fourier filtering. *IEEE Proceedings and Visualization Image Signal Process*, **141 (2):** 87–94.

SHRIVASTAVA A, SHRIVASTAVA DK (2016). A partition based novel approach in AFIS for forensics&security. *Procedia Computer Science*, **78:** 771 – 776.

SPEIR JA, HIETPAS J (2014). Frequency filtering to suppress background noise in fingerprint evidence: Quantifying the fidelity of digitally enhanced fingerprint images, *Forensic Science International*, **242:** 94–102.

SWANN BS (2006). Needs and applicationsof latents at FBI/CJIS. Federal Bureau of Investigations (FBI). NIST Latent Workshop.

SWGFAST (2011). Scientific Working Group on Friction Ridge Analysis, Study and Technology, Standards for Examining Friction Ridge Impressions and Resulting Conclusions, Version 1.0., pp.2-4.

THOMPSON MB, TANGEN JM (2014). The nature of expertise in fingerprint matching: experts can do a lot with a little. *Plos One Journal.*

ULERY BT, HICKLIN RA, ROBERTS MA, BUSCAGLIA J (2017). Factors associated with latent fingerprint exclusion determinations. *Forensic Science International*, **275:** 65–75.

ULERY BT, HICKLIN RA, ROBERTS MA, BUSCAGLIA J (2014). Measuring what latent fingerprint examiners consider sufficient information for individualization determinations. *Journal Plos One,* Vol. 9, Issue 11.

ULERY BT, HICKLIN RA, KIEBUZINSKI GI, ROBERTS MA, BUSCAGLOA J (2013). Understanding the sufficiency of ınformation for latent fingerprint value determinations. *Forensic Science International*, **230:** 99–106.

UNAR JA, SENG WC, ABBASI A (2014). A review of biometric technology along with trends and prospects. *Pattern Recognition*, **47:** 2673–2688.

VATSA M, SINGH R, NOORE A, HOUCK MM (2009). Quality-augmented fusion of level-2 and level-3 fingerprint information using DSM theory. *International Journal of Approximate Reasoning,* **50:** 51–61.

WAND YL, NING X, YIN Y (2003). A new fingerprint matching algorithm. *Journal of Image and Graphics,* **8(2):** 203–208.

WATSON C, FIUMARA G, TABASSI E, CHENG SL, FLANAGAN P, SALAMON W (2014). Fingerprint vendor technology evaluation. *National Institute of Standards and Technology,* NISTIR, 8034.

WILLIS A, MYERS L (2001). A cost-effective fingerprint recognition system for use with low-quality prints and damaged fingertips, *Pattern Recognition*, **34:** 255–270.

WOOD SS, WILSON CL (2004). Studies of plain-to-rolled fingerprint matching using the nıst algorithmic test bed (ATB). *NISTIR,* 7112.

YANG JC, PARK DS (2008). A fingerprint verification algorithm using tessellated invariant moment features. *Neurocomputing,* **71(10):** 1939–1946.

YANG J, ZHANG X (2012). Feature-level fusion of fingerprint and finger-vein for personal identification. *Pattern Recognition Letters,* **33:** 623–628.

ZHANG Q, YIN Y, YANG G (2016). Unmatched minutiae: Useful information to boost fingerprint recognition, *Neurocomputing,* **171:** 1401–1413.

ZHAO Q, ZHANG Y, JAIN AK, PAULTER NG, TAYLOR M (2008). A generative model for fingerprint minutiae. *Proceedings Of The International Conference on Biometrics (ICB),* pp: 1–8.

ZHOU J, HE D, RONG G, BIAN Z (2001). Effective algorithm for rolled fingerprint construction. *Electronics Letters,* Vol 37: No. 8.

ZHU E, GUO X, YIN J (2016). Walking to singular points of fingerprints. *Pattern Recognition*, **56:** 116–128.