

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AYAKKABI İZLERİNİN TANIMLANMASI

DOKTORA TEZİ

Bilgisayar Müh. Sayyad ALIZADEH

**HAZİRAN 2017
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AYAKKABI İZLERİNİN TANIMLANMASI

Bilgisayar Müh. Sayyad ALIZADEH

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.06.2017
Tezin Savunma Tarihi : 30.06.2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cemal KÖSE

Trabzon 2017

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
SAYYAD ALIZADEH

AYAKKABI İZLERİNİN TANIMLANMASI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 13 /06/2017 gün ve 1706 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

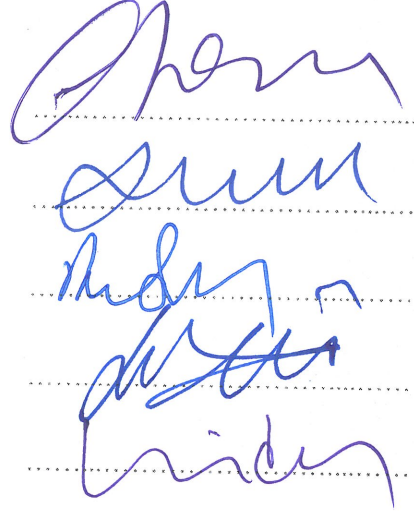
Başkan : Prof. Dr. Cemal KÖSE

Üye : Prof. Dr. Ali GANGAL

Üye : Prof. Dr. Rifat YAZICI

Üye : Doç. Dr. İbrahim Yücel ÖZBEK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Dünyada teknolojinin gelişmesi, insanların istek ve yaşam şartlarının değişmesiyle birlikte farklı sebep ve yöntemlerle suçlar işlenmektedir. Dolayısıyla bu suçların çözümünde yeni yöntemlere başvurulması gerekmektedir. Suçun ortaya çıkması ve kanıtlanması için bu yeni yöntemlerden ve gelişen teknolojiden yararlanmak zorunlu hale gelmiştir. İşte bu noktada olay yerinde bulunan kanıtların bu yeni yöntemlerle daha detaylı olarak toplanması ve çok iyi incelenmesi gerekmektedir.

Doktora tezi danışmanım olan ve dönem raporlarımda bana destek olan ve çalışmalarımı danışmanlığımı üstlenip; ilgisini, desteğini ve tecrübelerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Cemal KÖSE'ye sonsuz teşekkür ederim. Doktora süresince fikirlerine başvurduğum jüri üyelerine de ayrıca teşekkür ederim. Doktora eğitimimin başlamasında ve her aşamasında yanımda olan sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Sayyad ALIZADEH
Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Ayakkabı İzlerinin Tanımlanması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar ilk önce Prof. Dr. Vasif NABIYEV ve sonra Prof. Dr. Cemal KÖSE'nin sorumlulukları altında tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/06/2017

Sayyad ALIZADEH

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| ÖNSÖZ..... | III |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ..... | IV |
| İÇİNDEKİLER..... | V |
| ÖZET | VIII |
| SUMMARY | IX |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | X |
| TABLolar DİZİNİ..... | XII |
| SEMBOLLER DİZİNİ | XIII |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Olay Nedir? | 2 |
| 1.3. Olay Yeri Nedir? | 2 |
| 1.4. Olay Yerinde Bulunan İzler..... | 3 |
| 1.5. Ayakkabı İzlerine Önem Verilmemenin Nedeni? | 3 |
| 1.6. Ayakkabı İzleri | 4 |
| 1.7. Olay Yerinde Bulunan Ayakkabı İzi Türleri | 6 |
| 1.8. Olay Yerindeki Ayakkabı İzlerinin Kaydedilmesi | 7 |
| 1.9. Olay Yerinde Bulunan Ayakkabı İzlerinin Sıklığı | 8 |
| 1.10. Ayakkabı İzlerinden Edinen Bilgiler..... | 9 |
| 1.10.1. Adım Uzunluğu | 10 |
| 1.10.2. Adım Genişliği | 11 |
| 1.10.3. Yürüyüş Yönü | 11 |
| 1.10.4. Adım İzi Hattı..... | 11 |
| 1.10.5. Ayak İzi Hattı | 11 |
| 1.10.6. Ayak İzi Açısı..... | 12 |
| 1.10.7. Esas Açısı..... | 12 |
| 1.10.8. Boy | 12 |
| 1.11. Ayakkabı İzlerinin Önemi | 12 |
| 1.12. Ayakkabı İzlerinin Tanımlanması | 13 |
| 1.12.1. Yarı Otomatik Yöntemler..... | 14 |
| 1.12.2. Tam Otomatik Yöntemler..... | 15 |
| 1.13. Bölgesel Benzerlik Ölçümü..... | 22 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 1.13.1. | Chi-Kare Kriterleri | 22 |
| 1.13.2. | Histogram Kesişimi | 22 |
| 1.13.3. | Öklid | 23 |
| 1.13.4. | Log-Olabilirlik Oranı | 23 |
| 1.13.5. | Jensen-Shannon Sapma | 23 |
| 1.14. | Yerel İkili Örüntü | 23 |
| 1.14.1. | Yerel İkili Örüntü Operatörü | 24 |
| 1.14.2. | Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Farklı Versiyonları | 26 |
| 1.14.2.1. | Ayırt Edici Kabiliyetin İyileştirmesi | 26 |
| 1.14.2.2. | Sağlamlığının İyileştirilmesi | 29 |
| 1.14.2.3. | Komşularının Seçimi | 31 |
| 1.15. | Seyreklik Tabanlı Sınıflandırma | 33 |
| 1.15.1. | Sınıflandırmadaki Temel Problem | 34 |
| 1.15.2. | Sözlüğün Oluşturulması | 34 |
| 1.15.3. | Test Görüntüsünün Seyrek Olarak Gösterilmesi | 35 |
| 1.15.4. | Doğru Sınıfın Seçilmesi | 37 |
| 1.16. | Veri Tabanı | 37 |
| 2. | YAPILAN ÇALIŞMALAR | 42 |
| 2.1. | Ön İşleme | 42 |
| 2.1.1. | Gürültü Temizleme | 43 |
| 2.1.2. | Ayakkabı İzi Döndürme | 45 |
| 2.1.3. | Ölçekleme | 48 |
| 2.2. | Değiştirilmiş Çok Bloklulu Yerel İkili Örüntü Yöntemi ile Ayakkabı İzlerinin Tanımlaması | 50 |
| 2.2.1. | Özellik Çıkarma | 51 |
| 2.2.2. | Ayakkabı İzi Görüntülerini Eşleştirme | 56 |
| 2.3. | Çok Bloklulu Seyrek Gösterim Yöntemi ile Ayakkabı İzlerinin Sınıflandırılması | 57 |
| 2.3.1. | Seyrek Gösterim Tabanlı Sınıflandırma | 58 |
| 2.3.2. | Sınıf Eşleştirilmesi | 59 |
| 3. | BULGULAR VE TARTIŞMALAR | 60 |
| 3.1. | Çok Bloklulu Seyrek Gösterim Yönteminin Sonuçları ve Tartışmaları | 61 |
| 3.1.1. | Çok Bloklulu Seyrek Gösterim Yöntemi'nin Performansını Farklı Blok Boyutlarda Değerlendirmek | 62 |
| 3.1.2. | Çok Bloklulu Seyrek Gösterim Yönteminin Performansının Değerlendirilmesi ve Wright, Almaadeed ve Patil ve Philip de Chazal'ın Yöntemleri ile Karşılaştırılma | 62 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.1.3. | Çok Bloklı Seyrek Gösterim Yöntemi'nin ve Patil, Almaadeed ve Philip de Chazal Yöntemleri ile Rotasyona Karşı Performans Değerlendirilmesi | 65 |
| 3.1.4. | Çok Bloklı Seyrek Gösterim Yöntemi ve Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal Yöntemleri ile Ölçeklemeye Karşı Performansının Değerlendirilmesi | 67 |
| 3.1.5. | Çok Bloklı Seyrek Gösterim Yöntemin ve Diğer Üç Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal Yöntemleri ile Basel Üniversitesi'nin Veri Tabanı Üzerinde Performans Değerlendirilmesi | 68 |
| 3.2. | Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Sonuçları ve Değerlendirilmesi | 70 |
| 3.2.1. | Ayakkabı İzi Tanımlamada Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Performans Değerlendirilmesi | 71 |
| 3.2.1.1. | Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne Karşı Performansının Değerlendirilmesi | 71 |
| 3.2.1.2. | Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne Karşı Performans Değerlendirilmesi | 73 |
| 3.2.2. | Önerilen Yöntemin, Almaadeed ve Patil Yöntemleri ile Karşılaştırma | 74 |
| 3.2.2.1. | Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Almaadeed ve Patil Yöntemlerine Karşı Performans Değerlendirilmesi | 74 |
| 3.2.2.2. | Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Patil Yöntemi ile Rotasyona Karşı Performans Değerlendirilmesi | 77 |
| 3.2.2.3. | Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Patil ve Almaadeed Yöntemleri ile Tuz ve Biber Gürültüsü ve Gaussian Gürültüsüne Karşı Performansı Değerlendirilmesi | 79 |
| 4. | SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR | 86 |
| 5. | ÖNERİLER | 87 |
| 6. | KAYNAKLAR | 88 |

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

AYAKKABI İZLERİNİN TANIMLANMASI

Sayyad ALIZADE

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Cemal KÖSE
2017, 93 Sayfa

Adli tıp uzmanları, ayakkabı izlerini; suçları soruşturmak ve suçluları tanımlamak için kullandığı, özellikle suç yerlerinde görülebilecek önemli ipuçları olarak kabul ediyor. Dolayısıyla, ayakkabı izlerinin birbirleriyle eşleştirilmesi ile sağlam bir yöntem geliştirilmesi, suçluları tanımak için kullanılacak kritik öneme sahiptir. Bu tezde, çok bloklu seyrek gösterim tekniği ve değiştirilmiş çok bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ni geliştirerek ayakkabı izlerini elde etmek için umut vadeden iki yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemlerin performansı dört tane farklı yöntemle değerlendirildi. Doğru algılama skoru, doğru tespit edilen görüntülerin sayısının toplam test görüntülerine oranı bakımından elde edilmiştir. Simülasyonların sonuçları, önerilen yöntemler bütün ayakkabı izleri, pençe ve topuk kısmı elde etmede oldukça etkili ve etkili olduğunu gösterdi. Ayrıca, önerilen yöntemlerin karşılaştırıldığı diğer yöntemlere göre daha iyi performansa sahip olduğu bulunmuştur. İlk n sıra için kümülatif eşleşme skoruna göre kesin kimlik oranı ölçülmüştür. Önerilen yöntemler rotasyon ve ölçek bozulmaları bakımından diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemlerin bu çarpıklıklara direndiğini gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Ayakkabı İzleri, Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü, Özellik Çıkarma, Otomatik Görüntü Tanımlama, Benzerliği Ölçme, Çok Bloklu Seyrek Gösterim.

PhD. Thesis

SUMMARY

RETRIEVAL OF SHOEPRINT IMAGE

Sayyad ALIZADEH

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Computer Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Cemal KOSE
2017, 93 Pages

Shoe marks are regarded as remarkable clues which can be usually detected in crime scenes where forensic experts use them for investigating crimes and identifying the criminals. Hence, developing a robust method for matching shoeprints with one another is of critical significance which can be used for recognizing criminals. In this thesis, promising methods are proposed for retrieving shoe marks and shoeprint by means of developing *blocking sparse representation* technique and Modified Multi-Block Local Binary Pattern method. The performance of the proposed methods were evaluated via the four methods. Accurate detection score was obtained in terms of the ratio of the number of accurately detected images to the total test images. The results of simulations indicated that the proposed methods were highly effective and efficient in retrieving shoe marks, whole shoeprints, partial toe and heel shoeprints. Furthermore, it was found that the proposed methods had better performance than the other methods with which it was compared. Accurate identification rate according to cumulative match score for the first n matches was measured. Also, the proposed methods were compared with the other methods in terms of rotation and scale distortions. The results indicated that the proposed methods were resistant to these distortions.

Key Words: Shoeprint, LBP, Modified Multi-Block Local Binary Pattern, Feature Extraction, Automatic Image Retrieval, Similarity Measurement, multi-block sparse representation

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 1. Görünmeyen ayakkabı izi | 5 |
| Şekil 2. Işıklandırma tekniği ile ayakkabı izinin bulunması..... | 6 |
| Şekil 3. Üçboyutlu ayakkabı izi | 7 |
| Şekil 4. İki-boyutlu ayakkabı izi | 7 |
| Şekil 5. Yürüyüş ölçüleri | 10 |
| Şekil 6. Yerel ikili örüntü operatörü | 24 |
| Şekil 7. Farklı boyutlarda oluşturulmuş yerel ikili örüntü operatörü'nün komşuları | 25 |
| Şekil 8. Geliştirilmiş yerel ikili örüntü | 27 |
| Şekil 9. Yükseltilmiş yerel ikili örüntü operatörü..... | 29 |
| Şekil 10. Yerel üçlü örüntü operatörü..... | 30 |
| Şekil 11. Elips yerel ikili örüntü'de iki tane örnek | 31 |
| Şekil 12. Ayakkabı izi görüntüsün üzerinde uygulanan çok bloklu yerel ikili örüntünün sonucu..... | 32 |
| Şekil 13. Çok bloklu YİÖ histogramlarının çıkarılması ve birleştirilmesi | 33 |
| Şekil 14. Katılımcıların ayakkabı izlerinden alınan birkaç örnek..... | 39 |
| Şekil 15. Basel Üniversitesi'nin veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri..... | 40 |
| Şekil 16. Ayakkabı izlerinin üzerinde uygulanan önışlem adımlarının özeti | 43 |
| Şekil 17. Girdi olarak bir ayakkabı izi | 44 |
| Şekil 18. Ayakkabı izi görüntüsünün kenarlarına eklenen boşluk..... | 45 |
| Şekil 19. Döndürülmüş olan ayakkabı izi | 48 |
| Şekil 20. Kenarları kesilmiş olan ayakkabı izi | 49 |
| Şekil 21. Ayakkabı izinin üzerinde yapılmış olan önışleme aşamasının son hali | 50 |
| Şekil 22. Önerilen ayakkabı izlerinin tanımlanmasındaki sistemi..... | 51 |
| Şekil 23. a) Ayakkabı izi görüntüsü, B) Ayakkabı izi görüntüsünün üzerinde yapılan YİÖ'sünün sonucu..... | 52 |
| Şekil 24. a) Birinci model bloklama b) İkinci model bloklama..... | 54 |
| Şekil 25. a) Birinci bloklamada karşılık gelen histogramlar b) İkinci bloklamada karşılık gelen histogramlar | 55 |
| Şekil 26. a) Birinci görüntünün iki bitişik bloğunun histogramları b) İkinci görüntünün iki bitişik bloğunun histogramları | 55 |
| Şekil 27. Seyrek gösterimle ayakkabı izlerinin tanımlanması önerilen yöntem | 58 |
| Şekil 28. Bütün ayakkabı izinden elde edilen kısmi ayakkabı izleri | 60 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 29. | Önerilen Patil ve Philip de chazal yöntemlerinde döndürülmüş test görüntüleri için kümülatif eşleşme skoru | 66 |
| Şekil 30. | Önerilen yöntem, Patil ve Philip de Chazal yöntemlerinde ölçeklenmiş test görüntüleri için kümülatif eşleşme skoru | 68 |
| Şekil 31. | Basel Üniversitesi veri tabanında ayakkabı izlerinin alınması için önerilen ve diğer üç yöntemin performansı | 70 |
| Şekil 32. | Yerel ikili örüntü yöntemi ve çok bloklu yerel ikili örüntü yöntemi ile farklı boyutlarda gösterdikleri performans | 72 |
| Şekil 33. | Değiştirilmiş çok bloklu yerel ikili örüntü yöntemi'nin çok bloklu yerel ikili örüntü yöntemi'ne karşı bir performans karşılaştırması | 74 |
| Şekil 34. | Önerilen yöntem ve Patil Yöntemi'nin döndürmeye kaşı performansı | 78 |
| Şekil 35. | Çeşitli gürültü ile lekelenmiş görüntüler: (A) Gauss beyaz gürültü ve (B) tuz ve biber gürültü..... | 80 |
| Şekil 36. | Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin tuz ve biber gürültülerine ilişkin grafik | 82 |
| Şekil 37. | Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin gaussian gürültüleri ile ilişkin grafik..... | 84 |

TABLolar DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|------------------------|
| Tablo 1. Ayakkabı izlerinin tanımlanması ve sınıflanması için önerilen yöntemlerin özeti | 20 |
| Tablo 2. a) Birinci ağırlıklı matris, (b) İkinci ağırlıklı matris..... | 57 |
| Tablo 3. Önerilen yöntemde farklı blok boyutlarına sahip ayakkabı izi görüntülerinin tanımlanması | 62 |
| Tablo 4. Önerilen yöntem ve Wright, Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemlerinin bütün ve kısmi ayakkabı izlerini tanımlamasın elde ettiği kümülatif eşleştirme skorları | 64 |
| Tablo 5. Radon dönüşümü ve önerilen yöntemin rotasyonu kullanılarak Patil Yöntemi'nde ayakkabı izi görüntülerinin tanınması | 65 |
| Tablo 6. Önerilen yöntemin performansını Almaadeed ve Patil yöntemlerinin performanslarına karşı değerlendirme | 75 |
| Tablo 7. Patil Yöntemi'ni önerilen yöntemin döndürme metodu ile değerlendirilmesi | 76 |
| Tablo 8. Önerilen yöntem ve Patil Yöntemi'nin döndürmeye kaşı sonuçları..... | 79 |
| Tablo 9. Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin tuz ve biber gürültülerine ilişkin sonuçları | 82 |
| Tablo 10. Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin tuz ve biber gürültüleri ile ilişkin sonuçlar | 84 |

SEMBOLLER DİZİNİ

- YİÖ** : Yerel ikili örüntü
ÇBYİÖ : Çok bloklu yerel ikili örüntü
DÇBYİÖ : Değiştirilmiş çok bloklu yerel ikili örüntü
STS : Seyrek tabanlı sınıflandırma
ÇBSTS : Çok bloklu seyrek tabanlı sınıflandırma



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada teknolojinin gelişmesi, insanların istek ve yaşam şartlarının değişmesiyle birlikte farklı sebep ve yöntemlerle suçlar işlenmektedir. Dolayısıyla bu suçların çözümünde yeni yöntemlere başvurulması gerekmektedir. Suçun ortaya çıkması ve kanıtlanması için bu yeni yöntemlerden ve gelişen teknolojiden yararlanmak zorunlu hale gelmiştir. İşte bu noktada olay yerinde bulunan kanıtların bu yeni yöntemlerle daha detaylı olarak toplanması ve çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Yani suç işlenen ortamlarda, suçlulara ait izlerin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler genel olarak, parmak izi araştırması, avuç içi izlerinin araştırılması, ayak izlerinin araştırılması, eldiven izlerinin araştırılması, tekerlek izlerinin incelenmesi gibi yöntemlere dayanmaktadır. Bu yöntemlerden ayakkabı izleri üzerine çok fazla bilimsel çalışma yapılmamış olmakla birlikte gelinen noktada artık ayakkabı izleri de araştırmalarda büyük önem taşımaktadır. Çünkü ayakkabı izleri olay yerlerinde mutlaka rastlanan iz delillerinden birisini oluşturmaktadır. Değişik kişilere ait ayakkabı izleri arasında büyük farklılıklar bulunması ayak izlerini faillerin tespiti açısından önemli kılan en belirgin özelliklerdendir. Suçun işlenmesi sırasında failin/faillerin olay yerinde yürümeleri olanaklı değildir, bir zemine temas etmek zorundadırlar. Edmond Locard'ın ilkesine göre; her temas mutlaka iz bırakır; yani fail/faillerin olay yerindeki hareketleri esnasında ayakkabılarıyla yere temas etmeleri sonucunda ya ayakkabı izlerini olay yerinde bırakmakta ya da olay yerinde bulunan bir takım maddeleri kendi ayakkabılarına bulaştırmaktadırlar [1]

Olay yerinde yapılacak sistemli bir inceleme neticesinde tespit edilecek ayakkabı izleri suçluların olay yerinde bulunduğu kesin kanıtıdır. Suçun ortaya çıkarılmasında olay yeri incelemesi ve kanıtların elde edilmesi olayın çözülmesindeki en kritik ve en önemli noktadır.

Son zamanlarda suçlular, polisler tarafından yakalanmamak için yüzlerini örtülerle kapatarak, olay yerinde parmak izlerinin kalmaması için eldiven kullanarak ve ayrıca diğer yöntemlerle önemli kanıtları yok etmeye çalışıyorlar. Ancak ayakkabı izleri, genellikle suçluların tek bıraktıkları izlerden birisidir. Başka bir deyişle, ayakkabı izleri olay yerinde

en sık görülen izlerdendir. Bu nedenle olay yerinde görünen ayakkabı izleri iyi şekilde değerlendirilirse suçluların yakalanmasında polisler büyük ölçüde kolaylık sağlayacaktır.

Ayrıca bazen hırsızlar bir gün içinde birkaç soygun yapabilirler ve bu soygunlarda hırsızların ayakkabı değiştirmeleri zor hatta alışılmış bir yöntem değildir. Bu nedenle bir hırsızın aynı ayakkabı izlerini kullanarak gün içinde kaç tane olaya karışmış olabileceğinin ispatlanması mümkündür. Öte yandan, ayakkabı izleri parmak izleri gibi münhasır olmadığına göre ve başka insanların da aynı ayakkabı modelini kullanabileceği düşünüldüğünde, bu ayakkabı izleri önemli bilgileri içereceğinden araştırmaların alanı toplumun küçük bir bölümüne indirgenmiş olur [2]. Bu nedenle adli analizleri yapmak için olay yerinde bulunan ayakkabı izleri önceden toplanarak ve onlardan bir veri tabanı oluşturulup var olan ayakkabı izleri ile karşılaştırılır. Dolayısıyla ayakkabı izleri üzerinde yapılan analizler sonucunda polisler farklı suçlar arasındaki bağlantıları bularak, suçluların tanımlanması için doğru yol seçebilirler. Öte yandan bazen ayak izinin tamamı yerine bir parçasının bulunması bile delil açısından o küçük parçayı çok değerli kılar. Ayrıca piyasada çeşitli ayakkabıların bulunmasına rağmen o ayakkabı modelinin tanımlanması, araştırma alanının daraltmasına neden olacağından suçlunun bulunması daha da hızlı olabilecektir.

1.2. Olay Nedir?

Olay, genel anlamda herhangi bir durumda ortaya çıkan, gelişen, sonuçlanan veya sonuçsuz kalan vakalara verilen ad olarak tanımlanmaktadır. Olay; gündemi belirleyen, dikkatleri toplayan, farklılık yaratan ve olağanın dışında gerçekleşen bir durum olmasının yanında hukuksal olarak sonuçlar doğuran durumlar olarak da adlandırılabilir. Sonuç olarak insanların belirli durumlar karşısında gösterdikleri davranışların sonucudur.

1.3. Olay Yeri Nedir?

Yasalara aykırı suçluların tarafından yapılan olayların veya kanunlarda suç olarak belirtilen eylemlerin işlendiği yerlere olay yeri denilir. Aslında olay yeri suç ve suçluyla ilgili gerçeklerin ve bilgilerin kaynağıdır ve eğer uygun ve sistematik bir şekilde incelenirse fail veya faillerin belirlenmesi polisler tarafından mümkün olacaktır.

1.4. Olay Yerinde Bulunan İzler

Olay yerleri; suçun ispatlanmasında kullanılacak olan çoklu izler, kanıtları ve ipuçlarını içerir. Olay yerinin incelenmesindeki amaç; delillerin, ipuçlarının ve izlerin elde edilmesidir. Genellikle olay yerinde bulunan izler: Parmak izi, kan, saç, ayak izi vb. en yaygın olarak bulunan izlerdir. 1930 yılında Lyon Üniversitesi Kriminoloji Enstitüsü Başkanı Edmond Locard'ın ilkelerine göre "Her temas iz bırakır" [1]. Yani suçluların suç işlediği yerde ister istemez izleri kalacaktır. Bu ilkeye göre olay yerinin incelenmesi ve ipuçların bulunması büyük önem taşımaktadır. İzlerin önemine ve rolüne göre suçun ispatlanması, suçluların tespit edilmesi ve aynı zamanda haksız yere tutuklanan sanıkların suçsuzluğunun kanıtlanmasında kullanılmaktadır. Nihayet bu delillerin reddi imkânsız olarak; olay yerinin incelenmesi ve izlerin toplanması özel bir öneme sahiptir. Dolayısıyla suçluların belirlenmesi için olay yerindeki tüm izlerden verimli bir şekilde yararlanmak gerekmektedir. Ancak araştırmacılar tarafından parmak, lastik, saç, kan gibi izler üzerinde birçok araştırmalar yapılmış ve etkili yöntemler rapor edilmiştir [3-7]

1.5. Ayakkabı İzlerine Önem Verilmemesinin Nedeni?

Olay yeri inceleme esnasında ayakkabı izlerinin önemi üzerinde yeterince durulmaması olayın sonuçlanmasına olumsuz etki etmektedir. Ayakkabı izlerinin dikkatli ve özen gösterilerek toplanmasıyla şahsın orada olup olmadığını ispatlamak mümkündür. Bu delile yeterince önem verilmemesinin nedeni; olay yerine ayakkabı izleri üzerinde fazla bilgiye sahip olmayan veya ayakkabı izlerini önemsiz bulan kişilerin intikal etmesiyle birlikte izlerin karışması ve artık doğru sonuca varamayacak hale gelmesi olarak söyleyebiliriz.

Ayrıca ayakkabı izlerinin yeterince verimli kullanılmamasında yine karşımıza bilgisizlik ve önem vermemek çıkmaktadır. Olay yerindeki ayakkabı izlerinin inceleme merkezine götürülmesi sırasında gösterilen özensizlik, delillerin yine doğruya ulaşmada bozulmasına ve doğrunun sapmasına neden olmaktadır.

Ayakkabı izlerinden elde edilecek deliller yukarıdaki eksiklikler neticesinde sonuca ulaşmamaktadır. Olay yerindeki ayak izlerinin bilgili bir ekibin, doğru ekipmanları kullanılmasıyla doğru sonuçlara ulaşması kuvvetle muhtemeldir.

1.6. Ayakkabı İzleri

Ayakkabı izleri, ayakkabıların bir zemine basmasıyla o zeminde bıraktıkları her türlü iz verilebilir [8]. Ayakkabıların zeminle teması sonrasında o zeminde oluşturdukları kendine has izler olarak da tanımlanabilir.

Buna bağlı olarak görülmektedir ki ayak izleri tüm olay yerlerinde karşımıza çıkacak olan önemli izlerdendir. Yazımızın başında da belirttiğimiz gibi yeni yöntemlere başvurmak artık kaçınılmazdır. Çünkü suçlular eski yöntemlerle; yüzlerini gizlemek, eldiven giymek gibi önlemleri almaktadır. Ayakkabı izlerine yeterince önem verilmediğinin bilincinde olarak ayakkabı izleri bırakmama konusunda özen göstermemektedirler. Diğer delillerin yanı sıra ayakkabı izleri suçlular hakkında birçok bilgiyi bize sunmaktadır. Ayakkabı izleriyle olaya karışan kişi sayısına, hangi yönde hareket ettiklerine ve hatta ayakkabı numarasına göre boy ölçülerine bile rahatlıkla ulaşılabilir.

Bilinen deliller üzerinden bilgi sahibi olanlar, ayakkabı delilleri üzerinde pek durmazlar ve bu izleri gereksiz bulurlar. Ayakkabının birçok yerde bulunabilir olduğuna ve geçerli bir delil olmadığına inanırlar. Fakat olay hiç görüldüğü gibi değildir. Çünkü ayakkabı giyimeye başlandıktan sonra tabanı giyenin özelliklerini taşımaya başlar. Yürüyüşündeki ve ayak basış şeklindeki durumu onun hakkında birçok bilgiye ulaştırır bizi. Ayakkabı bir kez giyimeye başlandıktan sonra tabanı artık diğer tabanlardan farklılık gösterir. Bu durum olay yerinde bırakılan ayak izinden yola çıkarak o ayakkabıya ulaşmak son derece mümkündür. Ayakkabının yerde bırakacağı özellikler kişinin yürüyüş biçimine göre şekillenmiş olup aynı tabana sahip bir ayakkabının bırakacağı izden çokça farklılıklar gösterir. Sonuç olarak bir ayakkabı giyimeye başlandıktan sonra o iz sadece o ayakkabıya aittir ve tektir.

Ayakkabı izinden kişinin yürüyüş şeklinin yanı sıra cinsiyetine de rahatlıkla ulaşılabilir. Ayakkabı izlerini üç boyutu vardır. Bunlar genişlik, derinlik ve uzunluktan oluşmaktadır.

Suçluların olay yerine giderken, olay yerinden ayrılırken veya olay yerinde dolaşırken ayakkabı izlerini bırakmamaları mümkün değildir. Ayakkabı izleri somut bir delil olarak, olay yeri ve suçlu arasında bağlantı kurmada önemli bir rol oynar. Ayakkabı izleri her olayda mutlaka görülür. Bu izlerin bulunması oldukça zor olmasına karşılık elde edilmesi sonucunda da yanılma payı sıfırdır.

Ayakkabı izleri genelde zeminde görünür. Zeminlerin özelliklerine bağlı olarak, izin bulunmasında zor koşullarla karşılaşılabilir. Zemin ve çevre şartlarına göre bazı izler görünmez veya çok az görülebilir. Şekil 1’de görünmeyen bir ayakkabı izini gösterilmektedir [8].



Şekil 1. Görünmeyen ayakkabı izi

Dolayısıyla teknik ekipmanların devreye girmesiyle yani özel ışıklandırma teknikleriyle ayakkabı izlerinin bulunması sağlanabilir. Şekil 1’de görünmeyen ayakkabı izi Şekil 2’deki ışıklandırma tekniği ile nasıl görüntülenebildiği gösterilmektedir [8].



Şekil 2. Işıklandırma tekniği ile ayakkabı izinin bulunması

Birçok olay yeri inceleme uzmanının bu tür izlerin araştırılmasında çok az tecrübesi olması ya da hiç olmaması büyük bir handikaptır. Çoğu kez de böyle bir delili araştırmak için zaman ve çaba harcamazlar. Buna ilave olarak; olay yeri inceleme uzmanları olay yerine ulaşmadan, olay yerinde diğer şahısların dolaşması sonucunda, suçluların ayakkabı izleriyle bu şahısların ayakkabı izleri birbirine karışabilir. Ancak bu izlerin birbirine karışması, suçluların ayakkabı izlerinin yok olduğu anlamına gelmemelidir. Zira bazı olay yeri uzmanları, bu izleri tetkik etmeden izlerin birbirine karıştığını bahane ederek olay yerinde gerekli incelemeyi yapmazlar.

1.7. Olay Yerinde Bulunan Ayakkabı İzi Türleri

Ayakkabı izlerinin kaydedilmesi, ayakkabı izinin ne türlü zemin üzerinde bulunduğuna bağlı olarak örnekleme alınabilir. Ayakkabı izleri ayakkabının alt kısmının zeminle teması neticesinde oluşur ve bunlar iki türlü zemin üzerinde bulunur. 1) Eğer zeminin yüzeyi çamur, kum veya benzeri yumuşak materyallerle kapalı ise yerde

üçboyutlu bilgileri içeren ayakkabı izleri mevcut olacaktır. 2) Eğer zemin yüzeyi fayans, asfalt veya benzeri sert malzemelerle kapalı ise yerde ikiboyutlu ayakkabı bilgileri içeren ayakkabı izleri mevcut olacaktır. Şekil 3'te üçboyutlu ve Şekil 4'de ikiboyutlu ayakkabı izleri gösterilmektedir.



Şekil 3. Üçboyutlu ayakkabı izi



Şekil 4. İkiboyutlu ayakkabı izi

1.8. Olay Yerindeki Ayakkabı İzlerinin Kaydedilmesi

Olay yerindeki ayakkabı izlerini veri tabanındaki ayakkabı izleri ile karşılaştırmak için önce olay yerindeki ayakkabı izlerinin alınması gerekmektedir. İki farklı çalışmada

[9,10]; olay yerinde bulunan ayakkabı izlerinin çeşitli örnekleme yöntemleri verilmiştir. Polisler genellikle olay yerindeki ayakkabı izlerini; fotoğraf, jeller, elektrostatik veya üçboyutlu ayakkabı izlerini döküm yaparak topluyorlar. En yaygın örnekleme yöntemlerinden birisi ise ışık kaynağından paralel olarak yararlanılarak fotoğrafını çekmek. Ayakkabı izleri alındıktan sonra olay yerinde yasal olarak bulunan kişilerin ayakkabı izleri silinince geriye kalan ayakkabı izleri suçlulara ait olacaktır. Ardından bu ayakkabı izleri dijital bir ortamda memurlar tarafından mevcut veri tabanı ile karşılaştırılır veya daha sonra o veri tabanına eklenir. Başka bir deyişle son olarak bu ayakkabı izleri adli tıpta ayakkabı üreten şirketlerin veri tabanı ile veya şimdiye kadar olay yerlerinde bulunan ayakkabı izlerinin veri tabanı ile karşılaştırılır. Dolayısıyla olay yerinde bulunan bu türlü ipuçlarından daha verimli bir şekilde yararlanabilmek için geliştirilmiş ayakkabı izlerinin tanımlanmasına uyum sağlayacak bir sisteme gerek vardır. Bu tür sistemlerin yapılması sonucunda suçluların bulunması polisler tarafından önemli ölçüde hızlı ve kolay olacaktır.

1.9. Olay Yerinde Bulunan Ayakkabı İzlerinin Sıklığı

İnsanların attığı her adımla, ayakkabılarının yere her teması neticesinde o ayakkabıda bir deformasyon oluşur veya tabanında bulunan materyalleri zemin üzerine transfer eder [8]. Ayakkabı ve yüzeyin fiziksel temasında, ayakkabıyı kullanan kişinin ağırlığı ile orantılı olduğu için her bir adımda ayakkabı ile yüzeyi birbiri ile etkileşimde olurlar. Ama bu etkileşim neticesinde oluşacak her izi görünebilir veya tespit edilebilir nitelikte olması da doğru değildir.

Olay yeri çamurlu, kumsal veya yumuşak bir zemin olursa, oluşacak genel düşünce, ayakkabı izlerinin olay yerinde bulunması yönünde olacaktır. Bu tür olay yerlerinde yürüme neticesinde ayakkabı izi bırakmamak mümkün değildir. Eğer aynı olay farklı bir olay yerinde oluşmuşsa, ayakkabı izlerinin varlığı söz konusu olmayabilir.

Herkes günümüzde parmak izlerinin olay yerinde bulunma potansiyelini biliyor. Ama olay yerinde parmak izinden daha yüksek oranda veya parmak iziyle eşit, ayakkabı izlerinin bulunmasına rağmen, genelde ayakkabı izleri tanınmamaktadır maalesef. Ancak 1999 yılında Bodziak ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma, olay yerinde ayakkabı izlerinin bulunma oranı parmak izlerinden daha fazla olduğunu ispatlamıştır [9].

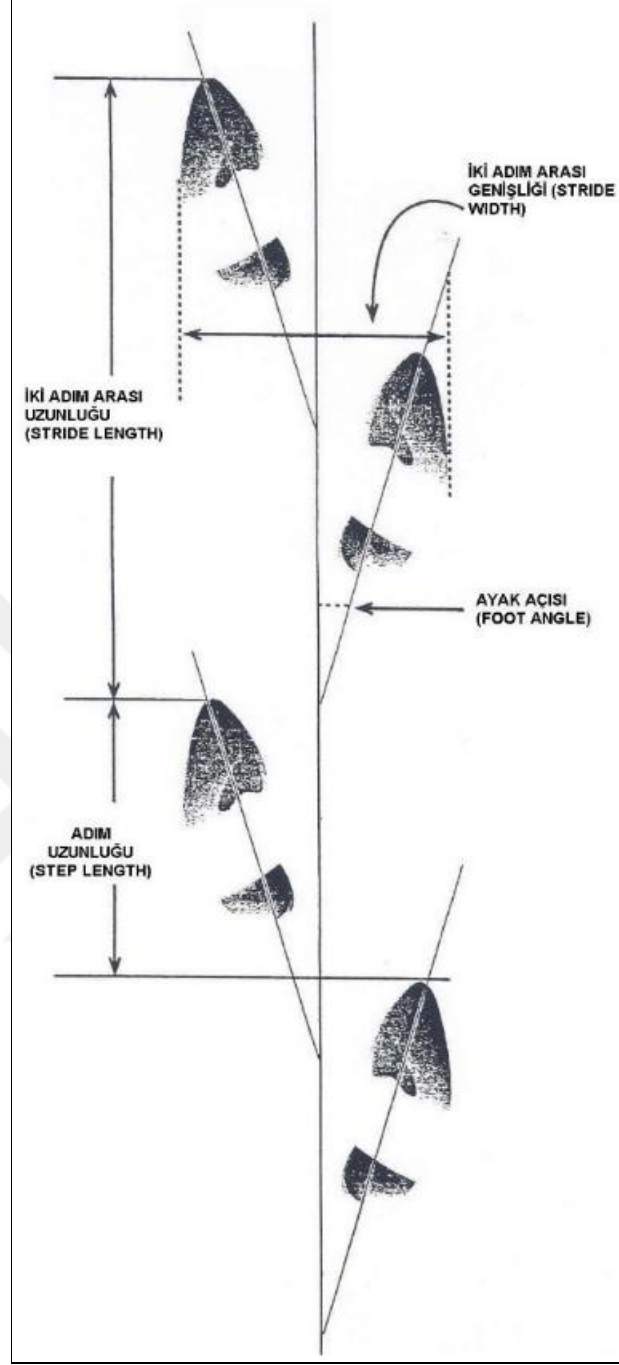
Polisler, genelde parmak izlerinin nerede ve nasıl bulduklarını biliyorlar. Ama aynı polisler, ayakkabı izleri hakkında yeterince bilgi sahibi değildirler. İnsanlar her adım

atışlarında; kar, toprak, mermer, çamur, asfalt, seramik, kâğıt, sandalye ve daha sayılamayacak kadar değişik şey üzerinde görülebilir veya daha sonra görünür hale getirilebilecek ölçüde çok sayıda ayakkabı izi bırakırlar.

1997 yılında İsviçre’de Girod ve arkadaşları tarafından *Adli Bilimler* üzerinde yaptıkları bir araştırmada, olay yerinde bulunan ayakkabı izlerinin yararının % 35’ten fazla olabileceğini rapor etmişler [10]. Ayrıca Alexandre ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada, % 30 hırsızlıklarda, olay yerinde kullanılabilir ayakkabı izlerinin bulunmasının mümkün olduğunu rapor etmişler [11]. Ayrıca iki başka literatürde olay yerlerinde bulunan ayakkabı izlerinin adli bilimlerde en önemli delillerden olduğu ve kabul edildiğini rapor etmişler [12,13].

1.10. Ayakkabı İzlerinden Edinen Bilgiler

İnsan yürürken veya koşarken yerde bıraktığı ayakkabı izlerine yürüyüş tarzı denir. Dolayısıyla ayakkabı izlerinin incelenmesi neticesinde ayakkabının kalitesine göre insanların sosyal yaşantısı hakkında da bilgi edinmek mümkündür. Yürüyüş tarzından; adım uzunluğu, adım genişliği, yürüyüş yönü, adım izi hattı, ayak izi hattı, ayak izi açısı, esas açı gibi hususların incelenmeyle soruşturmalar açısından çok önemli bilgilere ulaşılabilir [14-18]. Şekil 5’te ayakkabı izlerinin ölçüleri gösterilmektedir [8]. Bu hususların incelenmesi neticesinde; ayak izinin sahibinin boyu, kilosu, yük taşıyıp taşımadığı, fiziki durumu (topal vb.), koşarak mı yoksa yürüyerek mi izi bıraktığı, sarhoş ya da hasta olup olmadığı gibi hususlar tespit edilebilir [8].



Şekil 5. Yürüyüş ölçüleri [8]

1.10.1. Adım Uzunluğu

Sağ ve sol ayak izlerinin topuk merkezlerinin arasındaki mesafeye adım uzunluğu denir. Kişilerin bacak boylarına, hızlarına ve bazı durumlarda yaptığı işin şekline göre adım uzunlukları değişir. Kişilerin adım uzunlukları 50-90 cm arasında değişmektedir.

Normal yürüyüş sırasında orta boylu erkeğin adım uzunluğu normalde 70 cm'dir. Ama hızlı yürüyüş sırasında orta boylu erkeğin adım uzunluğu 90 cm'ye kadar ulaşır. Eğer adım uzunluğu 1 metreden veya daha fazla ise şahsın koşmuş olma ihtimali yüksektir. Adım uzunluğu normalde bayanlarda 50-70 cm arasında değişmektedir.

1.10.2. Adım Genişliği

Sağ ve sol ayak izlerinin dış kenar kısımları arasındaki mesafeye adım genişliği denir.

1.10.3. Yürüyüş Yönü

Kişinin bıraktığı ayakkabı izlerinin yönüne, yürüyüş yönü denir.

1.10.4. Adım İzi Hattı

Adım izi hattı normalde yürüyüş yönü ile uyum göstererek, kişinin attığı adımların genişliğine bağlı olarak, zikzak çizen bir hattır. Genellikle denizciler, şişmanlar, yaşlılar, trenlerde çalışanlar ve vb. dengelerini sağlayabilmek için adım izi hatlarında daha fazla zikzak çizerler. Adım izi hattı bazen yürüyüş yönünün ters yönden de kesiyor olabilir. Bu durumlarda sağ ayak izi yürüyüş yönünün sol tarafında, sol ayak izi ise yürüyüş yönünün sağ tarafındadır. Dolayısıyla adım izi hattının bu şekilde olması, ayak izlerini bırakan kişinin muhtemelen sarhoş veya zehirlenmiş olma ihtimali yüksektir.

1.10.5. Ayak İzi Hattı

Sağ veya sol ayaklara göre farklı olarak, ayak izi hattı kişinin ayak izlerinden uzunlamasına geçen eksenin oluşturduğu bir hattır.

1.10.6. Ayak İzi Açısı

Ayak izi açısı, yürüyüş hattı ile ayak izi hattı arasındaki açı olarak tanımlanır. Bu ayak izi açısı dikkate alınması gereken hususlardandır. Çünkü farklı kişilerin yürüyüş tarzlarının incelenmesi sonucunda, ayak izi açısı normal yürüyüş esnasında çok değişmez. Kişinin koşması, ağır bir yük taşınması veya engebeli bir yüzeyde yürütmesinde değişiklikler gösterebilir [14,17] Başka bir deyişle ayak izlerinin tespiti ile bu kişiler hakkında yorum yapmak mümkündür. Ayak izini bırakan şahsın yük taşıyıp taşımadığını tespiti ile bu kişiler hakkında yorum yapmak da mümkün olur. Her iki ayağın açıları geniş ise yük kucakta, dar ise sırtta taşınmış, sol ayağın açıları normal sağ ayağın açıları genişlemiş ise yük sağ elde, sağ ayağın açıları normal sol ayağın açıları genişlemiş ise yük sol elde taşınmış şeklinde yorum yapılabilir.

1.10.7. Esas Açı

Esas açı, sağ ve sol ayak izi hatları arasındaki oluşa, açığa veya sağ ve sol ayak izi açılarının toplamına denilir.

1.10.8. Boy

Ayak izine göre insanın boyunun tahmini de mümkün olmaktadır. Ayağın uzunluğu ortalama olarak erkeklerde boyun $S_e = \%15.8'ini$, bayanlarda ise $S_b = \%15.5'ini$ oluşturmaktadır (Tez Öneri Ref 2). Eğer L ayakkabı izinin uzunluğuna göre kişinin boyunun tahmin edilmesi istenirse $d=10-15 \text{ mm'lik}$ fark dikkate alınarak aşağıdaki ifadeye göre hesaplamalar yapılabilir.

$$P = \left(\frac{L-d}{S} \right) \times 100 \quad (1)$$

1.11. Ayakkabı İzlerinin Önemi

Olay yeri inceleme konusunda uzmanlaşmış kişilerin ayakkabı izlerini geçerli bir delil olarak görmemeleri, inceleme konusundaki en hatalı durumu ortaya çıkarmaktadır.

Olay yerinde bulunan ayakkabı izlerinin olayı sonuçlandırmadaki öneminin anlaşılması ve bu delillere değer verilmesi, atılması gereken en önemli adımdır. Yani ayakkabı izlerinden elde edilecek delillere öncelikle önem verilmesi gerekmektedir. Ayakkabı izlerinin olayı sonuçlandırmada bize sağlayacağı olumlu durumlara kısaca bir göz atalım.

Ayakkabı izi incelemelerinde asıl olan o ayakkabının iz bırakan ayakkabıyla aynı olup olmadığının tespitidir. Bu detaylı incelemeler sonucunda kesin sonuçlara ulaşılabilmektedir.

Kesin bilgiye ulaşamayacağımız ayakkabı izleri ise bize şüphelilerin elenmesi veya diğer delillerin desteklenmesi konusunda yardımcı olabilir. Bu durumda taban deseninden, ayakkabının boyutundan veya genişliğinden de her durumda yararlanılabilir.

Olay yerinde bırakılan izler bize şüpheliler hakkında birçok bilgi verebilir. Şüphelileri araştırırken olay yerindeki izler bizleri şüphelilerin kaç kişi oldukları, kadın mı erkek mi oldukları, kaçış veya hareket yönleri gibi pek çok bilgiye ulaştırır. Bu nedenle de ayakkabı izleri oldukça önem taşımaktadır.

Bu nedenlerden ötürü ayakkabı izleri olay yeri inceleme uzmanlarının önem vermesi ve dikkatli incelenmesi gereken deliller arasındadır ve bize sağlayacağı bilgiler anlamında da büyük önem arz etmektedir.

1.12. Ayakkabı İzlerinin Tanımlanması

Günümüzde olay yerinden elde edilen parmak izleri, kan, saç vs. gibi delillerin üzerinden suçluları bulmak için analizler yapılmaktadır. Bu delillerin arasında irtibatlandırma yapmak için karşılaştırma gerekmektedir. Bu nedenle karşılaştırma aşamasında, delillerin arasındaki benzerliğin bir şekilde bulunması gerekmektedir. Bu bağlamda da, ayakkabı izlerinin tanımlanması ve onların değerlendirilmesi için çoklu yarı otomatik ve tam otomatik olan yöntemler önerilmiştir. Bu bölümün devamında bu yöntemlerin bazıları kısaca özetlenmiş ve ayrıca Tablo 1’de bu güne kadar önerilen yöntemlerin çoğunun elde ettiği başarılar, referans veri tabanında ve sorgu yapılan veri tabanında ne kadar görüntü kullanılmış ve hangi bozulmalara karşı önerilen yöntem değerlendirilmesi de tablonun sütunlarında verilmiştir. Ayrıca kullanılan ayakkabı izlerinin gerçek veya yapay olduğu da belirtilmiştir.

1.12.1. Yarı Otomatik Yöntemler

1990'lı yıllardan önceki çoğu çalışmalarda ayakkabı izlerinin tanımlanmasıyla ilişkili araştırmalar örüntü tanıma yöntemlerini kullanmayarak, tanımlama aşamasında ayakkabıların altında bulunan şekillerin el vasıtasıyla çıkarılıp tanımlamaya veya sınıflandırmaya çalışmıştır [11-13, 19-23].

John Birkett bu konuda ilk başta gelen isimlerden birisidir. Birket ayakkabı izindeki desenlere sayısal ve alfanümerik değerler vererek kodlama sistemini önermiştir [24] Ama bu sistem 1980 yılında, yeni desenlerin ortaya çıkması sonucu ayakkabı izlerinin benzersiz tanımlama veya sınıflandırma işleminde başarısız olduğunu tespit etmiştir. Daha sonra 1993 yılında desenlerin elemanlarına iki basamaklı sayısal önek ve üç basamaklı sayısal son ek vererek bu yöntemi geliştirmiştir.

Ashley, geometrik desenlerle; örneğin zikzaklar, daireler, kareler ve harflerle her ayakkabı izini tanımlamak için yeni bir yarı otomatik yöntem önermiştir [23]. Ashley, önerdiği yönteminde; tanınmamış ayakkabı izinin geometrik desenlerini veri tabanındaki ayakkabı izi desenleri ile karşılaştırmaya çalışılmış.

Genel olarak yarı otomatik yöntemlerde ayakkabı izlerini tanımlamak için ayakkabının altındaki şekilleri, örneğin; daireler, yarı daireler, kareler, dikdörtgenler, çizgiler, zikzaklar, üçgenler, oval ve vb. geometrik desenlerden yararlanarak ayakkabıları sınıflandırmaya çalışmışlar. Böylece olay yerinde bulunan ayakkabı izlerini tanımlamak ve onları veri tabanındaki izlerle karşılaştırmak için ayakkabı izindeki şekilleri ayırt etmek gerekmektedir. Bu şekillerin ayırt edilmesi zor ve zaman alıcı olduğu için ve ayrıca kâğıt katalogları içinde elle aramanın sıkıcı bazen de hatalı olabileceğine varsayımına göre ayakkabı izlerinin tanımlanmasında veya sınıflandırmasında araştırmacıları, örüntü tanıma tekniklerini kullanmaya mecbur bırakmıştır. Yani yarı otomatik yöntemler yorucu ve hatalı olabileceği için günümüzde bu yöntemler mümkün olduğunca çok az kullanılmamaktadır. Ayrıca basit şekillerle yeni karışık desenlerin ifade edilmesinin yeterince zor olduğu düşünüldüğünde ve adli tıp araştırmacılarının bazı durumlarda bir ayakkabı izinin sınıfı üzerinde tam bir fikir birliği içinde olamadıklarından ötürü, ayakkabı izi tanımlamada yarı otomatik yöntemler yerlerini tam otomatik yöntemlere bırakmıştır.

Böylece yaklaşık 90'lı yılların ortalarından itibaren araştırmacılar çoğunlukla araştırmalarında desen tanımlama tekniklerini kullanarak, ayakkabı izlerinin tanımlama ve sınıflandırma işleminde tutum değişikliğine gitmişlerdir [25-29].

1993 yılında Hollanda'daki bir araştırmada, 14.000 adet ayakkabı izinden oluşan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı; zanlıların ayakkabı izleri, olay yerinde bulunan ayakkabı izleri ve mağazalarda bulunan ayakkabı izlerinden oluşan üç farklı sınıftan oluşmuştur [30]. Bu çalışmada araştırmacılar 14.000 adetlik veri tabanının izlerinden sadece mevcut yöntemlerle 500 adetini tanımlayabilmişlerdir. Bu nedenle Geradts ve arkadaşları bu veri tabanını sınıflandırmak için desen tanıma tekniklerinden bir tanesini kullanarak bir otomatik algoritma önermişlerdir [30]. Bu algoritmada ayakkabıların profilleri önce çeşitli profillere bölünmüş, sonra bu profillerin Fourier Dönüşümü hesaplanmıştır. Sonunda Fourier Dönüşümü'nden elde edilen en iyi özellikler seçilmiş ve yapay sınır ağları ile sınıflandırmaya çalışmışlardır.

1.12.2. Tam Otomatik Yöntemler

Yarı otomatik yöntemler zaman geçtikçe başarısız olduğundan sonraki araştırmalar, yönünü tam otomatik yöntemlerin gelişimine çevirmiştir. Dolayısıyla bu bölümde bazı tam otomatik yöntemler detaylı olarak ele alınarak ve diğer ayakkabı izlerini tanımlamaya ve sınıflandırmaya çalışan yöntemler özet olarak Tablo 1'de verilmiştir. Öncelikle bu tabloda araştırmalar, araştırmacıların kullandığı yapay izler veya gerçek izlere göre ayrılmıştır. Ayrıca bu yöntemlerde kullanılan özellikler, referans veri tabanı ve sorgu yapılan veri tabanındaki görüntü sayısı ve hangi bozulmalara karşı (örneğin döndürme, öteleme, gürültü, ölçekleme, kısmi vb.) değerlendirmeler yapıldığı belirtilerek tablonun son sütununda da araştırmanın hangi yılda yayınlandığı ve kaynağı verilmiştir.

Bu bağlamda; Alexander ve arkadaşları 1999 yılındaki çalışmalarıyla [31] ve 2000 yılındaki başka bir çalışmalarında [32] Fraktallardan yararlanarak ayakkabı izi görüntülerinin özelliklerini çıkararak ayakkabı izlerini tanımlamaya uğraşmışlardır. Ardından karşılaştırma aşamasında, veri tabanındaki ayakkabıların özellikleri birer birer sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsünün özellikleri ile Ortalama Kare Gürültü yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemde sistemin performansını hesaplamak için her kıyaslamada bir benzerlik değer elde edilip ve nihayet veri tabanındaki tüm ayakkabı izlerinin benzerlik değerleri büyükten küçüğe sıralanarak, sorgu yapılan ayakkabı izi listenin başında bulunan n tane en benzer ayakkabılarla benzer olup olmadığını ölçülmüşlerdir. Rapor edilen sonuçlara göre 145 adetlik bir veri tabanında hiçbir öteleme veya rotasyon olmadan (olmaksızın), % 88 başarı elde edilmişti. Bu yöntemin performansı ötelemeye çok duyarlı

olduğu için ayakkabı izi 90 derece döndürüldüğü zaman performansın % 50 düştüğü öğrenilmiştir. Yanı sıra 13 piksellik bir ötelemede performans % 10'a kadar düştüğü rapor edilmiştir.

D. Chazel ve arkadaşları Fourier Dönüşümü'nü kullanarak ayakkabı izi görüntülerini tam otomatik bir yöntemle sınıflandırmaya çalışmışlar [33]. Onlar önce 476 adetlik bir ayakkabı izi görüntüsünden oluşan bir veri tabanı oluşturmuşlar. Bu veri tabanındaki ayakkabı izi görüntülerini öncelikle sahip olduğu desenlere göre 140 adet farklı sınıfa ayırmışlardır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsünün özelliklerini çıkarmak için Güç Spektrumu Yoğunluğu kullanarak ayakkabı izi görüntüsünün özelliklerini hesaplamışlar ve sonra aynı şekilde elde edilmiş olan referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntülerini Güç Spektrumu Yoğunluğu ile karşılaştırmışlar. Ardından karşılaştırma sonuçlarını benzerlik değeri olarak referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri büyükten küçüğe sıralamış ve listenin başındaki gelen görüntülerle doğru sınıflanıp veya sınıflanmadığına karar verilmiştir. Rapor edilen sonuçlara göre % 65 oranında aranan ayakkabı izi görüntüsü sıranın en başında yer almıştır ve % 87 oranında aranan ayakkabı izi görüntüsü sıranın başındaki % 5 olan ayakkabı izi görüntülerinin aralarında yer almıştır. Bu yöntem döndürme ve ötelemeye karşı iyi performans elde etmiştir. Ayrıca bu yöntemde kullanılan ayakkabı izi görüntüleri iyi kalitede olduğu açıklanmış olup ve ancak gürültülü ayakkabı izi görüntülerinden hiç bahis edilmemiştir.

Pavlo ve arkadaşları ayakkabı izi görüntülerinin yerel şekilleri ve desen yapılarına dayalı bir otomatik sınıflandırma sistem sunmuşlar [34]. Bu yöntemde seçilmiş olan özellikler ve tanımlayıcılar afinden bağımsızdır. Böylece bu yöntemin dönme ve ötelemeye karşı dirençli olduğu rapor edilmiştir. Bu yöntemde de sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsü tüm referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri ile karşılaştırılıp ve benzerliklerine göre ayakkabı izi görüntüleri büyükten küçüğe sıralanmıştır. Bu yöntem yerel özellikleri kullandığı için kısmi ayakkabı izlerini iyi bir şekilde tanımlıyor. Sistemden rapor edilen sonuçlara göre % 85 oranında aranan bütün ayakkabı izi görüntüsü, sıralanan ayakkabı izi görüntülerinin ilk başında yer almıştır ve yanı sıra % 91 oranında aranan bütün ayakkabı izi görüntüsü sıranın başındaki ilk altı tanesinde ayakkabı izi görüntülerinin aralarında yer almıştır. Ayrıca aranan ayakkabı izi görüntüsü parçalı pençe kısmi olan ayakkabı izi görüntüleri % 84 oranında sıranın ilk başında ve % 90 oranında sıranın başındaki ilk altı tanesinin aralarında yer almıştır.

Gueham ve arkadaşları Fourier-Mellin Dönüşümü'nü kullanarak ayakkabı izi görüntülerinden öteleme, dönüşüm ve ölçeklemeden bağımsız olan özellikler çıkararak, ayakkabı izi görüntülerini tam otomatik tanımlama için yeni bir sistem önermişlerdir [35]. Bu özelliklerin elde edilmesi için öncelikle ayakkabı izi görüntülerinden hızlı Fourier Dönüşümü alarak ardından sonuçların yüksek ve alçak frekansları filtre edilmiştir. İşlemin devamındaki aşamada elde edilmiş olan sonucu Log-Polarla eşleştirip ve sonra hızlı Fourier Dönüşümü'yle yeniden hesaplanarak Fourier ölçeğine dönüştürülmüştür. Bu yöntemde iki boyutlu korelasyon, benzerlik kriteri olarak kullanılmıştır. Rapor edilen sonuçlara göre bu sistem öteleme ve dönüşümden bağımsızdır ve ayrıca karşılaştırma aşamasında % 100 oranında başarı elde etmiştir. Onların raporlarına göre sistemin performansı ölçekleme ve gürültülü koşullarda iyi sonuçlar vermiş olup ve ayrıca bu yöntemin kısmi ayakkabı izi görüntülerinin tanımlanmasındaki gücünü ortaya koymuştur.

Al Grani ve arkadaşları Hu Moment sabitlerinden yararlanarak ayakkabı izlerini eşleştiren bir tam otomatik sistem önermişlerdir [36]. Bu çalışmada, ayakkabı izi görüntüsünün Hu-Moment sabitlerini hesaplamak için önce ayakkabı izi görüntüsünü Otsu Yöntemi ile ikili görüntüye dönüştürüp ve sonra yedi tane Hu-Moment sabitlerini hesaplamışlardır. Bu sistemde adaptasyon sürecinde sorgu yapılan ayakkabı izi görüntülerinin özellik vektörleri tüm referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntülerinin özellik vektörleri ile karşılaştırılmıştır. Rapor edilen sonuçlara göre % 99.4 oranında sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsü, listenin ilk başında doğru şekilde tanımlanmıştır. Yanı sıra ayakkabı izi görüntülerinin çözünürlüğü 6 dpi'ya düştüğü zaman, adaptasyon işleminin dikkati % 97,8 oranına düşmüştür. Ayrıca raporlara göre ayakkabı izleri +90 ve -90 derecelerinde döndürüldüğü zaman yine % 100 doğru bir şekilde sorgulanan ayakkabı izi görüntüsü, referans veri tabanından hatasız olarak bulunmuştur.

Patil ve arkadaşları Gabor filtresi yöntemini kullanarak döndürme ve yoğunluktan bağımsız olarak bir tam otomatik sistem önermişler [37]. Bu yöntemde öncelikle ayakkabı izi görüntüsü Radon Dönüşümü ile döndürülmüştür. Sonra ayakkabı izi görüntülerinin özelliklerini çıkarmak için ayakkabı izi görüntüsünden 8 farklı açıdan Gabor filtresi alınmıştır. Elde edilen 8 adet Gabor filtresi sonucundan, 4 adet en yüksek enerjiye sahip olan sonuçlar seçilmiştir. Daha sonra her 4 adetten seçilmiş olan sonuçlar 16×16 pikselli bloklara bölünmüştür. Ardından bloklara bölünmüş olan her 4 sonuca karşılık gelen bloklarının ortalama varyansları hesaplanarak bu varyanslar özellik vektöründe kaydedilmiştir. Bu yöntemde Öklid uzaklığı, benzerlik kriteri olarak kullanılmıştır.

Adaptasyon aşamasında sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsünün özellik vektörü tüm referans veri tabanındaki özellik vektörleri ile karşılaştırılıp ve sonra elde edilen değerlere göre ayakkabı izi görüntüleri büyükten küçüğe sıralanmıştır. Rapor edilen sonuçlara göre % 91 oranında bütün ayakkabı izi görüntüsü sıranın ilk başında yer almıştır ve % 100 oranında aranan ayakkabı izi görüntüsü sıranın başındaki ilk 2 adet arasında yer almıştır. Ayrıca kısmi ayakkabı izi görüntülerinde, % 66 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri sıranın ilk başında yer almış ve %100 oranında aranan görüntü sıranın başındaki ilk 3 adet arasında yer almıştır. Ayrıca % 50 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri de sıranın başındaki ilk 1’de yer almış ve % 100 oranında aranan ayakkabı izi görüntüsü sıranın başındaki ilk 2 adet içinde bulunmuştur.

Dardi ve arkadaşları Mahalanobis uzaklığına dayalı ayakkabı izi görüntülerini tanımlamak için bir tanımlayıcı önermişlerdir [38]. Bu tanımlayıcı piksellerin geometrik yapılarına dayalı çalışmaktadır. Bu çalışmada her ayakkabı izi görüntüsünün yoğunluk varyansı ve miktarından yararlanarak bir uzunluk matris bloğu elde edilmiştir. Denilen bu uzunluk matrisi bloğu aynı Mahalanobis uzunluğudur. Ardından bu tanımlayıcı uzunluk matris bloğundan güç spektral yoğunluğu hesaplanmıştır. Bu yöntem adaptasyon için korelasyon katsayısını kullanmaktadır. Adaptasyon sonucunda referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsüne göre bir listede sıralanıyor. Rapor edilen sonuçlara % 73 oranında sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsü sıranın ilk 10 adeti evvelinde yer alıyor ve % 100 oranında sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsü sıranın ilk 19 adeti evvelinde yer almıştır.

Min-Quan Jin ve arkadaşları ayakkabı izlerini otomatik tanımlamak için ayakkabı izi görüntüsünün tabanında bulunan desenlerin yönsel özelliklerinden yararlanarak ayakkabı izi görüntülerini tanımlamaya çalışmışlardır [39]. Bu yöntemde desenlerin yönsel özelliklerini çıkarmak için eş oluşum matrisleri, Fourier Dönüşümü ve yönlü matrislerden yararlanılmıştır. Sistemin sonuçları açıklanmamıştır ama raporlarına göre Temel Bileşenler Analizi’nden yararlandıkları için yöntemleri döndürme ve ötelemeden bağımsızdır.

Benzeri başka iki tane çalışmada [40,41], kısmi ayakkabı izi görüntülerini tanımlamak için Ölçeksel Değişmeyen Özellik Dönüşümü’nden (SIFT) ve yerel noktalar kombinasyonundan yararlanarak ayakkabı izi görüntülerini tanımlamaya çalışmışlardır. Bu yöntemlerde Harris-Laplace ve Hessian-Laplace’dan yararlanarak önce ölçeklemeden bağımsız olan noktaları bulmuşlar ve ardından bulunan noktaları döndürmeden bağımsız yapmak için Ölçeksel Değişmeyen Özellik Dönüşümü’nden yararlanarak her noktayı bir

tanımlayıcı olarak hesaplamışlardır. Adaptasyon sürecinde Harris-Laplace detektörünün ve Hessian-Laplace detektörünün puanlarını kombine ederek referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri puanlarına göre büyükten küçüğe bir listede sıralanmıştır. Rapor edilen sonuçlara göre % 99,3 oranında sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsü sıranın % 10 oranındaki ilk başında bulunmuştur.

Lin ve arkadaşları ayakkabı izinde bulunan desenlerin köşelerinden yararlanarak yeni bir adet tam otomatik ayakkabı izi tanımlama sistemi önermişler [42]. Her ayakkabı izi görüntüsünde bulunan desenlerin kenarlarını bir histograma yerleştirerek özellik çıkarmaya çalışmışlardır. Bu sistemde ayakkabı izinin kenarlarını çıkarmak için öncelikle Canny Yöntemi ile görüntünün kenarlarını çıkarmışlar ve sonra elde edilen kenarları kuantize ederek ayakkabı izi görüntüsünün histogramını oluşturmuşlar. Rapor edilen sonuçlara göre bu yöntem; döndürme, öteleme ve ölçeklemeden bağımsızdır. Ayrıca sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüsü % 85.4 oranında doğru şekilde adaptasyon yapılmıştır.

Tang ve arkadaşları ayakkabı izi görüntülerini tanımlamak için kümelemeye dayalı bir otomatik sistem önermişler [43]. Onlar sistemin tanımlama aşamasında performansının hızını artırmak için referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntülerindeki desenlerine göre öncelikle kümelemişler ve sonra referans veri tabanını ona göre yapılandırmışlardır. Bu sistemde ayakkabı izi görüntülerinde bulunan çizgi, daire, elips vs. gibi geometrik şekilleri ayakkabı izi görüntüsünün özellikleri olarak yapıyılaştırmışlar ve bu yapıyılaştırmalara göre atfedilen ilişkisel grafik gibi kümeleme yapmışlardır. Rapor edilen sonuçlara göre bu yöntem öteleme, döndürme ve ölçeklemeden bağımsızdır.

Başka bir çalışmada ayakkabı izi görüntülerini otomatik tanımlamak amacıyla Radon dönüşüm histogramını çıkararak yerel adaptasyondan yararlanmışlar [44]. Bu yöntemde ayakkabı izi görüntüsünü bağlantılı bileşenler ve yerel tanımlayıcılara ayırmışlar. Bu nedenle en iyi bağlı bileşenler arasından yerel adaptasyonu bulmak ve başka bir deyişle iki ayakkabı izi görüntüsünün benzerliği bulmak için yerel benzerlik ölçüsünün ortalamasından yararlanmışlardır.

Xiangbin Kong ve arkadaşları ayakkabı izi görüntüsünden Gabor Dönüşümü ve Zernike Momenti hesaplayarak, ayakkabı izi görüntüsünün doku özelliklerini ve sabit momentlerini özellik olarak kullanmışlar ve sonunda ayakkabı izi görüntülerini tanımlamaya çalışmışlar [45].

Wei ve arkadaşları Ölçeksel Değişmeyen Özellik Dönüşümü'nden yararlanarak bütün ve kısmi ayakkabı izi görüntülerini tanımlamaya çalışmışlar [2]. Bu yöntemde

ayakkabı izi görüntülerindeki yerel ekstremumları (Extrema) tanımlamak için farklı ölçekler kullanılmışlar. Sonunda elde edilen yerel ekstremumlardan yararlanarak ayakkabı izi görüntüleri tanımlamaya çalışmışlardır.

Ayrıca Wei ve arkadaşları başka bir çalışmada [46], ayakkabı izi görüntülerini otomatik tanımlamak için Çekirdek Noktası Hizalama'dan yararlanmışlar.

Kortylewski ve arkadaşları gürültülü ortamlardaki ayakkabı izi görüntülerini tanımlamak için bir gözetimsiz tanımlama algoritması önermişler [47]. Bu algorithmada ayakkabı izi görüntülerindeki yerel periyodikleri denetimsiz bir şekilde hesaplayıp, sonra görüntüdeki yerel periyodik olan yerler normalleştirilmiştir. Ardından ayakkabı izi görüntüsündeki periyodik olan yerlerden Fourier dönüşümü alınmıştır. Bu sürecin devamında desenleri önce parçalayarak, her konumdaki sabit kalan frekans spektrumdan adaptasyon için yararlanmışlar. Ayakkabı izinin adaptasyonunda periyodik desenlerin Fourier Dönüşümü'nün sonucu karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sorgu yapılan veri tabanında 170 adet ayakkabı izi görüntüsü bulunmaktadır ve bunların içinden % 60 periyodik desenlere sahip olduğu için testlerde 133 adet ayakkabı izi görüntüsünden yararlanılmıştır. Rapor edilen sonuçlara göre en iyi ihtimalde % 20'ye tekrar çağrı yapılarak başarı oranı % 85'e ulaşmıştır. Bu algoritmanın performansı gürültülü görüntülerde güçlüdür. Ama ayakkabı izi görüntüsünün tanımlanması için periyodik desenlere sahip olması gerekmektedir.

Tablo 1. Ayakkabı izlerinin tanımlanması ve sınıflanması için önerilen yöntemlerin özeti

| Ayakkabı izi Türü | Veri Tabanı Boyutu | Özellikler | Rapor edilen sonuçlar | Değerlendirilen Bozulmalar | Yıl & Kaynak |
|-------------------|----------------------------|--|-----------------------|----------------------------|--------------|
| Yapay izler | Referans: 32 | Dönme ve Öteleme | - | Fractal | 1999 |
| | Referans: 145 | Dönme ve Öteleme | 88% @ 1% | Fractal | 2000 |
| | Referans: 475 | Dönme ve Öteleme | 87% @ 5% | PSD | 2005 |
| | Referans: 512 | Dönme, Gürültü, Ölçekleme ve Öteleme | 97.7% @ 4% | DFT | 2005 |
| | Referans: 368 | Dönme ve Öteleme | 85% @ 1 | MSER + SIFT | 2006 |
| | Referans: 500 | Dönme, Gürültü, Ölçekleme, Degradations ve Kısmi | 100 % @ 1 | Harris + SIFT | 2007 |
| | Referans: 500 | Dönme, Gürültü, Ölçekleme and Kısmi | 87 % @ 1 | Harris + SIFT | 2007 |
| | Referans: 100 Query: 60 | Kısmi ve Gürültü | 93.7 % @ 1 | POC | 2007 |
| | Referans: 100 Query: 60 | Dönme, Gürültü ve Kısmi | 95.68 % @ 1 | POC | 2008 |

Tablo 1'in devamı

| Ayakkabı izi Türü | Veri Tabanı Boyutu | Özellikler | Rapor edilen sonuçlar | Değerlendirilen Bozulmalar | Yıl & Kaynak |
|-------------------|--------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Yapay izler | Referans: 500 | Dönme, Gürültü ve Resolution (dpi) | 99.4% @ 1 | Hu's moments | 2008 |
| | Referans: 500 | Dönme, Ölçekleme, Gürültü, Kısmi ve Öteleme | 99% @ 10 | FMT | 2008 |
| | Referans: 374 | - | 87 % @ 1 | MSER + SIFT | 2009 |
| | Referans: 300 | Dönme ve Öteleme | - | Fourier transform | 2009 |
| | Referans: 300 | Dönme, Gürültü ve Kısmi | 90 % @ 1 | SIFT+ RANSAC | 2009 |
| | Referans: 1400 | Dönme, Kısmi ve Gürültü | 91% @ 1 | Gabor transform | 2009 |
| | Referans: 430 | Kısmi ve Gürültü | 90 % @ 2 % | SIFT | 2011 |
| | Referans: 512 | ----- | ----- | HRT | 2012 |
| | Referans: 430 | Dönme, Kısmi ve Gürültü | 90% @ 5% | SIFT | 2013 |
| | Referans: 1230 | - | 0.726 in first four Zernike moments | Zernike moments | 2014 |
| | Referans: 300 Query:300 | Dönme, Ölçekleme, Kısmi and Gürültü | 99.33% @ 1 | Harris + Hessian + SIFT | 2015 |
| Gerçek izler | Referans: 87 Query: 35 | Gürültü | 49 % @ 1 | Texture | 2009 |
| | Refrence: 87 Query: 30 | Dönme, Ölçekleme ve Öteleme | 73% @ 10 | Texture | 2009 |
| | Referans: 87 Query: 35 | Gürültü | 100 % @ 6 | PSDM | 2009 |
| | Referans: 6000 | Kısmi ve Gürültü | 61.7% @ 5 | Gabor Wavelet | 2009 |
| | Referans: 75 Query: 35 | Dönme, Öteleme ve Gürültü | 100 % @ 1 | Texture | 2010 |
| | Referans: 2660 Query: 100 | Dönme, Ölçekleme, Öteleme Kısmi ve renkli izler | 71 % @ 1% | ARG | 2010 |
| | Referans: 1000 Query: 50 | Dönme, Ölçekleme, Öteleme, Gürültü ve Degradations | 70 % @ 1% | ARG | 2010 |
| | Referans: 2660 Query: 300 | Dönme, Ölçekleme, Öteleme, Gürültü ve Degradations | 74% @ 10% | ARG | 2012 |
| | Referans: 2000 Query: 195 | - | - | GTHH | 2014 |
| | Referans: 210,000 Query: 72 | Dönme, Öteleme ve Ölçekleme | 90.87 % @ 2% | Wavelet-Fourier transform | 2014 |
| | Referans: 1,225 Query: 104 | - | 53.40% @ 10 | Gabor filter + Zernike Moment | 2014 |
| | Referans:1175 Query: 170 | Öteleme ve Gürültü | 27.1 % @ 1% | Pattern Periodicity | 2014 |
| | Referans: 1175 Query: 300 | - | 71% @ 20% | PCABM | 2016 |

1.13. Bölgesel Benzerlik Ölçümü

Bir çift P ve Q görüntüsünün histogramlarının benzerliğini hesaplamak için uygulanabilir çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada Chi-Kare testi başta olmak üzere dört adet de farklı histogram benzerliği hesaplayan yöntem (Log-Olasılık Oranı, Histogram Kesişimi ve Jensen-Shannon sapma testleri) ele alınmıştır.

Bu yöntemlerin denklemlerindeki bulunan j değişeni görüntülerdeki bölgelerin indeksi ve i değişeni histogramlardaki bölmelerin indeksini kastetmektedir. Birinci görüntü $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ ve ikinci görüntü $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ gibi ifade edilmektedir. Şimdi bu bölümün devamında bu yöntemler nasıl bölgelerin benzerliği hesaplamak için çalıştığı gösterilmektedir.

1.13.1. Chi-Kare Kriterleri

$$X_w^2(P, Q) = - \sum_{i,j} \frac{(p_{i,j} - q_{i,j})^2}{p_{i,j} + q_{i,j}} \quad (1)$$

Ayakkabı izi görüntüsündeki bölgelerin önemi birbiri ile farklı olduğu için bölgelerin önemine dikkat verilmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle bazı bölgelerde bulunan fark veya eşitlik benzerlik hesaplamada fazla etki yaratması, tanımlama işlemi doğru yöne aktaracaktır. Bu önemin verilmesinin nedeni ayakkabı izlerindeki orta bölgeler birbirleri ile çok farklı olabiliyor. Bu avantajdan faydalanmak yani taşıdığı bilgiye bağlı olarak her bölgeye bir ağırlık verilmesi gerekmektedir. Bu faydalardan yararlanılması durumunda kullanılacak olan ağırlıklı Chi-Kare testi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$X_w^2(P, Q) = - \sum_{i,j} w_{i,j} \frac{(p_{i,j} - q_{i,j})^2}{p_{i,j} + q_{i,j}} \quad (2)$$

1.13.2. Histogram Kesişimi

$$D(P, Q) = \sum_i \min(p_i, q_i) \quad (3)$$

1.13.3. Öklid

$$D_{Norm_Öklid} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(p_i - q_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad (4)$$

1.13.4. Log-Olabilirlik Oranı

$$L(P, Q) = D_{KL}(P \parallel Q) = -\sum p_i \log(q_i) \quad (5)$$

1.13.5. Jensen-Shannon Sapma

$$L(P, Q) = D_{KL}(p \parallel Q) = \sum_i [p_i \log(p_i) + q_i \log(q_i) - 2t(i) \log(t(i))] \quad (6)$$

$$t = 0.5 \times (p_i + q_i)$$

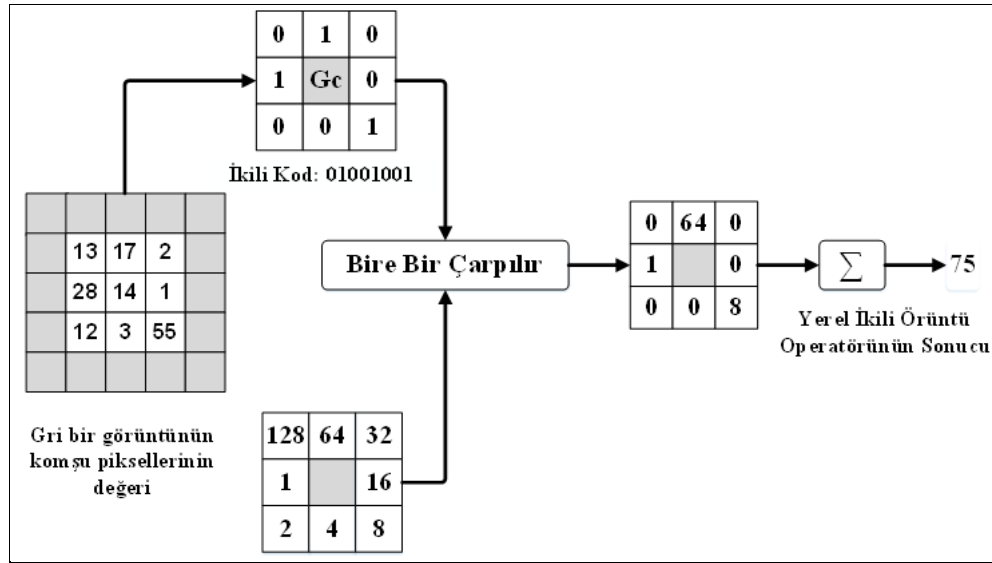
1.14. Yerel İkili Örüntü

Tezin bu bölümünde Yerel İkili Örüntü (YİÖ) yöntemi ele alınmıştır. Yerel İkili Örüntü özellik çıkarma ve sınıflandırma yöntemlerinin bir türüdür. Yerel İkili Örüntü 1990 yılında önerilen Spektrum Doku Modeli'nin özel bir modeli olarak önerilmiştir [48,49]. Bu yöntem ilk olarak 1994 yılında Ojala ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuş ve sonra 1996 yılında dokuların sınıflandırılması için güçlü bir yöntem olarak önerilmiştir [50,51]. Bu yöntem ortaya çıktığı andan itibaren dokuların sınıflandırılmasında güçlü bir özellik tanınmış ve daha da Yerel İkili Örüntü histogramı ile kombine edildiğinde, bazı veri seti üzerinde önemli bulguların performanslarının artırdığı tespit edilmiştir [52]. Son yıllarda Yerel İkili Örüntü doku analizinde ve yerel doku tanımlanmasında güçlü bir yöntem olarak, çeşitli uygulamalarda çok geniş çaplı kullanılmaktadır. Yerel İkili Örüntü, bilgisayarda görme ve sınıflandırma için kullanılan bir özellik türüdür. Bu yöntemle yüz tanımda, yaşın belirlenmesinde, yüz bulmada, yüz ifadesini tanımda, üçboyutlu dokuların sınıflandırılmasında, hareket eden objelerin tespiti gibi farklı bilgisayarda görme uygulamalarında kullanılmakta ve ayrıca iyi performans sergilemektedir. Bu yöntem, gri

seviye görüntüleri üzerinde uygulandığı zaman, ışık değişimlerine karşı duyarlılığı çok az olduğu için tanımlama işlemlerinde çok tercih edilmektedir. Yerel İkili Örüntü yöntemi ile bir pikselin komşuları hakkında özel bilgiler elde ediliyor. Bu yöntemle görüntülerin özellik vektörünün hesaplanması hızlı ve kolay olduğu için de çok tercih edilmektedir.

1.14.1. Yerel İkili Örüntü Operatörü

Yerel İkili Örüntü Operatörü (YİÖO) bir gri seviyesinde olan görüntünün yerel komşuluk değerlerine dayalı bir özellik çıkarma operatörüdür. Bu operatör ilk olarak bir pikselin 8 adet komşusu üzerinde, bir 3×3 kare bir operatör olarak önerilmiştir. Yerel İkili Örüntü Operatörü, merkez pikselin şiddetini eşik değer olarak kabul eder ve bu eşik değeri 8 adet komşunun piksellerinin şiddetleri ile karşılaştırarak; ikili sayılı sekiz bit uzunluğunda bir kod elde eder. Ardından elde edilen kodun ikili sayı sisteminde olduğu için, bu kod onluk tabana dönüştürür. Şekil 6'da Yerel İkili Örüntü Operatörünün diyagramı ve nasıl çalıştığını gösterilmektedir. Dolayısıyla bu elde edilen onluk tabandaki değer, merkez pikselin Yerel İkili Örüntü değeri olarak kabul edilip ve tüm görüntünün piksellerinin üzerine Yerel İkili Örüntü Operatörü uygulanarak aynı boyutta bir görüntü elde edilecektir. Denklem (7)'de Yerel İkili Örüntü Operatörünün nasıl hesaplandığını matematiksel olarak göstermektedir.



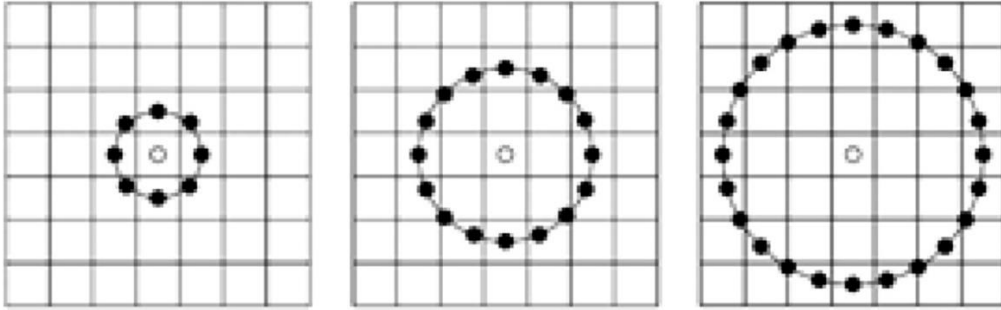
Şekil 6. Yerel ikili örüntü operatörü

$$Y\ddot{I}\ddot{O}(x, y) = \sum_{i=0}^{P-1} S(g_i - g_c) \times 2^i \quad (7)$$

$$S(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Burada (x, y) merkez pikselin koordinatları, S herhangi bir pikselin merkez pikselden büyük veya küçük olması, g_c merkez pikselin değeri, g_i herhangi bir komşu piksellerin değeri ve P sekizle eşit olarak komşu piksellerin sayısını belirlerler.

Uygulamalarda komşuluk değerlerine göre farklı operatörler kullanılır. Yani Yerel İkili Örüntü Operatörü sekiz komşuluk yerine farklı boyutlara değiştirilebilir. Bu durumda, komşu pikseller merkez piksel etrafında bir daire üzerinde yer alırlar. Eğer P 'yi komşu piksellerin sayısı olduğunu varsayarsak, C merkezi piksel, R merkez pikselin komşu piksellerle arasındaki mesafeyi temsil edecektir. Dolayısıyla bu operatörü $Y\ddot{I}\ddot{O}_{P,R}$ gösterimiyle ifade edilir. Şekil 7 farklı boyutlarda oluşturulmuş Yerel İkili Örüntü Operatörünün komşuları gösterilmektedir.



Şekil 7. Farklı boyutlarda oluşturulmuş yerel ikili örüntü operatörü'nün komşuları

Farklı boyutlarda Yerel İkili Örüntü operatörünün komşularının koordinatı denklem (9) gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} y &= y_c + R \sin\left(\frac{2\pi n}{p}\right) \\ x &= x_c + R \cos\left(\frac{2\pi n}{p}\right) \end{aligned} \quad (9)$$

Denklem (9) komşu piksellerin, farklı yarıçapında (R) ve farklı sayıda komşu piksellerin (P) hesaplandığını göstermektedir. Denkleme (9) göre, bazı koordinatlar tamsayı olmayabilir. Böylece piksel değerleri iki çizgili İnterpolasyon ile tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin bitiminden sonra elde edilen görüntü üzerindeki özellikleri ayırt etmek için histogram kullanılmaktadır. Dolayısıyla elde edilen histogramlar bir görüntü için özellik olarak kullanılacaktır.

1.14.2. Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Farklı Versiyonları

Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin performansının geliştirilmesi için son zamanlarda farklı uygulamalarda çoklu sayıda değişimler yapılmıştır [53]. Bu değişimler orijinal YİÖ operatörünün üzerinde beş adet alt bölüme ayrılmaktadır.

- A. Ayırt edici kabiliyetin geliştirilmesi
- B. Sağlamlığı iyileştirme
- C. Komşuların seçimi
- D. Üçboyutlu yapma
- E. Diğer özelliklerle birleştirme

1.14.2.1. Ayırt Edici Kabiliyetin İyileştirilmesi

Yerel İkili Örüntü Operatörü, yerel yapıları tanımlamak için çoklu sayıda örüntünü tarif edebiliyor. Bu yöntemin ayırmacı yeteneğini geliştirmek için daha fazla örüntü veya bilginin kodlanması gerekmektedir.

- Düzgün Yerel İkili Örüntü

Ayırt edici özelliğini iyileştirme yöntemlerinden birisi Düzgün Yerel İkili Örüntü (DYİÖ) yöntemidir. Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin ilk geliştirilmesi 2000 yılında tıp desenleri üzerinde uygulanmıştır. Bu yöntemde bitlerin arasındaki geçişleri sayarak veya başka bir deyişle kodlardaki düzenine bakarak Yerel İkili Örüntü Operatörü'nden elde edilen kodun düzenli veya düzensiz olup olmadığına karar verilir. Bu karardaki ölçüt, 1'den 0'a veya 0'dan 1'e geçişin sayımıyla ilgilidir. Eğer geçiş sayısı iki adetten fazla olursa bu kod düzgün olmayıp ve eğer bu kod en fazla iki veya 10'dan da az olursa bu kod

düzgün olacaktır. 256 adet Yerel İkili Örüntü kodunda 58 adet kod düzenli ve 198 adet kod düzensiz olacaktır. Örneğin 00000000 kodunda 0 geçiş ve 11001001 kodda 4 geçiş olarak; sırasıyla düzgün ve düzgün olmayan Yerel İkili örüntüler olarak tanımlanmıştır. Aşağıdaki denklem düzenli Yerel İkili Örüntü kodunun nasıl hesaplanmasını göstermektedir.

Denklemdaki U_c merkez pikselin düzenlilik ölçüsünü ve s ise özel dönüşüm fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$U_c = \sum_{i=0}^{p-1} |s(g_i - g_c) - s(g_{i-1} - g_c)| \quad (10)$$

$$Y\ddot{O}_{P,R}^{U^2} = \begin{cases} \sum_{i=0}^{P-1} |s(g_i - g_c)|, & \text{Eğer } U_c \leq j, j = 2| \\ P + 1 & \text{Aksi Takdirde} \end{cases} \quad (11)$$

Burada U_c merkez pikselin düzenli olup olmadığını, g_c merkez pikselin değeri ve g_i komşu piksellerin değerini ifade etmektedir.

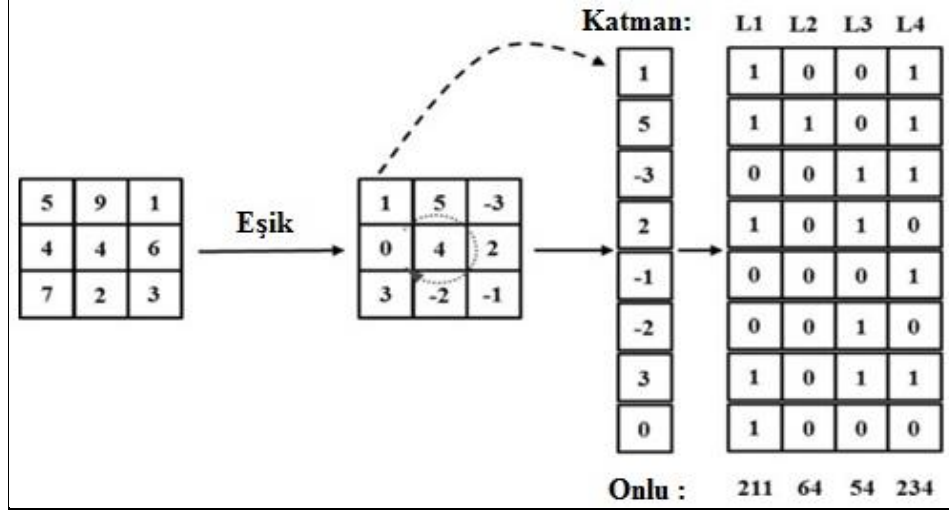
Jin ve arkadaşlar belirli koşullar altında daha fazla yerel yapı bilgilerini açıklamak için YİÖ operatörünü iyileştirmişler [54]. Şekil 8’de gösterildiği gibi merkez piksel dâhil olmak üzere tüm piksellerin ortalama şiddetini hesaplayarak tüm piksellerle karşılaştırılıp ve bir geliştirilmiş YİÖ önermişler. Örneğin, YİÖ_(8,1) operatörü, 3 × 3 komşulukta sadece 256 (2⁸) örüntü üretebilir. Hâlbuki geliştirilmiş YİÖ’nün farklı 511 (2⁹ - 1, tüm sıfırlar ve birleri beraber hesaplayarak) örüntüsü vardır. Daha sonra geliştirilmiş Yerel İkili Örüntü, orijinal 3×3 komşuluk yerine herhangi bir boyutta komşuluğu kullanmak için yeni bir yöntem geliştirilmiş [55]. Bir benzer çalışmada da merkezi piksel sadece dikkate alınmayarak yeni bir yöntem önermişler [56].

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|--|---|---|---|
| 113 | 177 | 103 | \longrightarrow Ortalama (105) ile karşılaştırılır | 1 | 1 | 0 |
| 228 | 141 | 0 | | 1 | 1 | 0 |
| 123 | 3 | 57 | | 1 | 0 | 0 |

Şekil 8. Geliştirilmiş yerel ikili örüntü

Yang ve Wang bir çalışmada [57], orijinal LBP'nin ayırt edici özelliğini geliştirmek için Hamming LBP önermişler. Onlar Hamming mesafesine dayalı düzensiz örüntüleri tek bir bölmeyle toplamak yerine yeniden düzensiz örüntüleri sınıflandırıyorlar. Hamming LBP'de düzensiz örüntüler ve düzenli örüntüler arasındaki Hamming mesafeyi en aza indirerek, düzensiz örüntüler, düzenli örüntülere dâhil ediliyor. Örneğin, $(10001110)_2$ düzensiz örüntü, düzgün bir örüntüye $(10001111)_2$ dönüştürülür. O anki birkaç düzgün örüntünün bir düzensiz örüntü ile aynı Hamming mesafesi olursa, biri minimum Euclidian mesafesi ile seçilecektir.

Başka çalışmalarda ayırt edici yeteneğini geliştirmek için Yükseltmiş Yerel İkili Örüntü adlı yöntem geliştirilmiştir [58,59]. Yükseltmiş Yerel İkili Örüntü Operatörü, sadece merkez piksel ve komşularının arasındaki ikili karşılaştırma yapılacak bir yöntem değildir. Bu yöntem aynı zamanda bazı ek ikili birimlerini kullanarak onların tam gri değer farklarını kodluyor. Özellikle, Yükseltmiş Yerel İkili Örüntü özelliği çoklu katta birkaç YİÖ kodlarından oluşmaktadır. Bu yöntem merkez piksel ve komşu pikseller arasındaki değer farkını kodluyor. Şekil 6'da gösterildiği gibi Yükseltmiş Yerel İkili Örüntü'de ilk başta, gerçek gri değer farkını kodluyor ve sonra onların işaretini ilk katta kodlamış olarak ve yükseltmiş Yerel İkili Örüntü sonrası katları daha sonra ise gri değer farkının mutlak değerini kodluyor. Temelde, her mutlak gri değer farkının değeri ilk olarak ikili temsil edilip ve daha sonra ek olarak kalan katlara eklenmektedir. Böylece onlu tabanda bir sayı (211) , ikili sayısı $(11010011)_2$ elde ediliyor. Gri değer farklarının mutlak değerleri 1, 5, 3, 2, 1, 2, 3 ve 0 ikili hallerine döndürülüyorlar. Daha sonra bunun devamında onlardan oluşan ondalık değerler elde ediliyor. Düşüncelerine göre benzer yerel dokuları anlatırken birinci tabaka YİÖ yeterince ayırt edici değildir, ancak bunun sonucunda, diğer ek katmanlar kodlanmış ve bilgi ayırmak için kullanılabilir. Yükseltmiş Yerel İkili Örüntü büyük ölçüde özellik boyutunu artar.



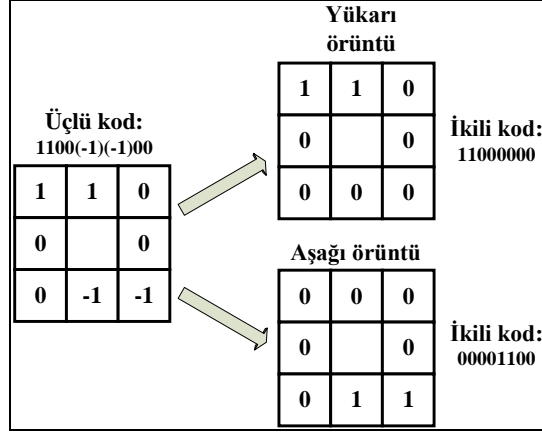
Şekil 9. Yükseltilmiş yerel ikili örüntü operatörü

1.14.2.2. Sağlamlığın İyileştirilmesi

Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde merkez piksel eşik tutulduğu için bu yöntem gürültüye duyarlıdır. Bu sorunu çözmek amacıyla Tan ve Triggs bir çalışmada [60], orijinal Yerel İkili Örüntü yöntemini ikili kodlar yerine 3-değerli kodlar ile iyileştirmiş ve Yerel Üçlü Örüntü (YÜÖ) yöntemi diye adlandırmışlar. Yerel Üçlü Örüntü Yöntemi'nin nasıl çalıştığını detaylı anlamak için bu yöntemin denklemi aşağıdaki gösterilmektedir.

$$S(g_i, g_c, t) = \begin{cases} 1, & g_i \geq g_c + t \\ 0, & |g_i - g_c| < t \\ -1, & g_i \leq g_c - t \end{cases} \quad (12)$$

Burada g_i komşu piksellerin değeri, g_c merkez pikselin değeri ve t ise kullanıcı tarafından belirlenen eşik değeri olarak ifade edilmektedir. Yerel üçlü örüntünün kodları gürültüye karşı daha dayanıklıdır, ama artık gri seviye dönüşümlerine kesinlikle değişmez değil. Şekil 10'da gösterildiği gibi her üçlü örüntüyü iki parçaya yani bir pozitif ve bir negatife bölmek için bir kodlama şeması aşağıdaki şekilde verilmiştir. Yerel üçlü örüntüde eşik olan t 'in ayarlanması basit değildir.



Şekil 10. Yerel üçlü örüntü operatörü

Başka bir çalışmada da Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ni geliştirmek için yumuşak Yerel İkili Örüntü önerilmiştir [61]. Yumuşak Yerel İkili Örüntü Yöntemi aşağıdaki bulanık üyelik fonksiyonunu kullanmaktadır.

$$S_{1,d}(x) = \begin{cases} 0, & x < -d \\ 0.5 + 0.5 \frac{x}{d}, & -d \leq x \leq d \\ 1, & x > d \end{cases} \quad (13)$$

$$S_{0,d}(x) = 1 - S_{1,d}(x) \quad (14)$$

Burada d parametresi bulanıklaştırma miktarını kontrol eder ve bulanık fonksiyonu ile gerçekleştirilir. Yerel komşuların örnek sayısı P olduğu zaman, histogramın düzenli örüntü operatörü $0, 1, \dots, 2^p - 1$ kadar olacak ve histogramdaki bölmelerin sayısı da $2^p - 1$ olacaktır. Tek bir (x_c, y_c) pikselin katkısı histogramın h 'inci bölmesinde aşağıdaki olacaktır.

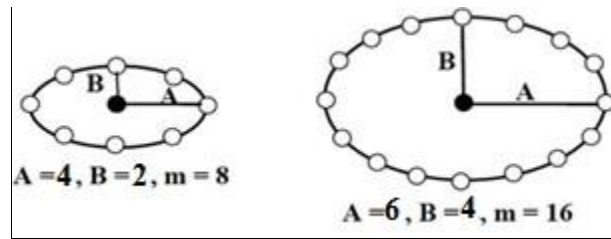
$$YYIÖ(x_c, y_c, h) = \prod_{p=0}^{P-1} [bn(h) \cdot S_{1,d}(gp - gc) + (1 - bp) \cdot S_{0,d}(gp - gc)] \quad (15)$$

Denklemdaki $bp(h)$ parametresi h 'nin ikili temsilinin P . bitini sayısal değer olarak ifade etmektedir.

Bu model Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde bir piksel birden fazla bölmeye katkıda bulunacaktır. Ancak tüm bölmelerde bir pikselin katkılarının toplamı her zaman 1 olacaktır. YYİÖ giriş görüntüsündeki bulunan küçük bir değişiklik çıkışı sadece küçük bir değişikliğe yol açacaktır ve Dolayısıyla bu yöntem Yerel İkili Örüntü'nün sağlamlığını artıracaktır.

1.14.2.3. Komşularının Seçimi

Yerel İkili Örüntü tabanlı teknikler için uygun komşuların seçilmesi nihai performans üzerinde önemli ve olumlu bir katkı sağlayacaktır. Orijinal Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde, komşu pikseller bir daire üzerinde tanımlanmaktadır. Liao ve Chung bir çalışmada [29], bir elips üzerinde yer alan komşu pikselleri, uzatılmış Yerel İkili Örüntü Yöntemi olarak geliştirmişler. Şekil 8'de uzatılmış Yerel İkili Örüntü'den iki tane örnek gösterilmektedir. Şekilde A ve B değişkenleri, sırasıyla, uzun bir eksen ve kısa eksen olarak tanımlanır ve ayrıca m değişkeni de komşu piksel sayısını belirtilmektedir. Orijinal yerel ikili örüntünün ardından, piksel üzerine yer almayan komşuları, doğrusal İnterpolasyon tekniği ile belirtilmektedir.



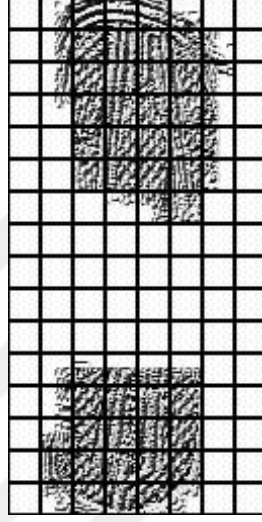
Şekil 11. Elips yerel ikili örüntü'de iki tane örnek

Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin bu tür geliştirilmesinde en önemli geliştirme Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'dir.

- Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü

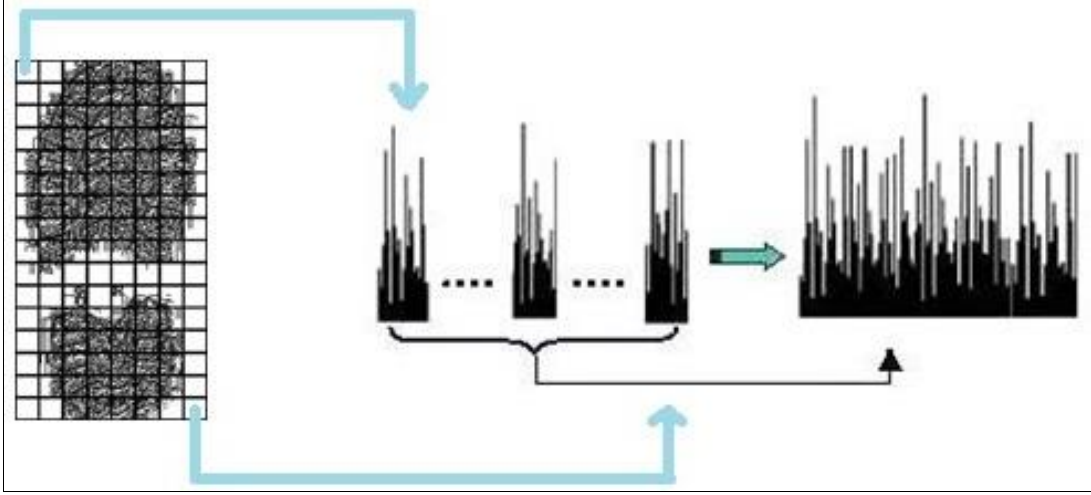
Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin geliştirilmiş bir modelidir ve çeşitli şekillerde önerilmiştir [62-64,74]. Bu modelde görüntünün

özelliklerini çıkarmak için önce görüntü n (R_0, R_1, \dots, R_{n-1}) bölgeye ayrılıp ve sonra Yerel İkili Örüntü ayrı ayrı her bölgenin üzerinde uygulanır. Ardından her bölgenin histogramları çıkarılıp ve bir özellik vektöründe yerleştirilir. Eğer bölgelerin sayısı n ise ve l 'yi histogramların uzunluğu olarak varsayılırsa; o zaman özellik vektörünün uzunluğu $n \times l$ boyutunda olacaktır. Şekil 12 bir ayakkabı izi görüntüsünün üzerinde Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü uygulanmış ve elde edilen sonucu gösterilmektedir.



Şekil 12. Ayakkabı izi görüntüsünün üzerinde uygulanan çok bloklü yerel ikili örüntünün sonucu

Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü'nün amacı, görüntüden tek bir histogram almak yerine, yerel bölgelere göre kaç tane histogramın oluşturulması görüntüden detaylı özelliklerin çıkarılmasına yardımcı olacak ve adaptasyon işlemini de daha başarılı yapacaktır. Yerel histogramların hesaplanması için görüntü malum boyutlarda bloklara (örneğin 16×16) bölünecektir. Daha sonra da her bloğun histogramı çıkarılacaktır. Örneğin düzgün Yerel İkili Örüntü'de her blokta 58 adet düzenli olan şiddetler dikkate alınmaktadır. Geri kalmış olan düzensiz şiddetler yerine de tek bir değer tutmak yeterli olmaktadır. Böylece 256×128 boyutundaki bir görüntünün toplamda 128 adet düzenli Yerel İkili Örüntü histogramı elde edilmiş olur. Daha sonrasında bu bölgesel histogramlar birleştirilerek tek bir histogram da elde edilmiş olarak ve bu histogram her bir görüntü için özellik vektörü olarak kabul edilmektedir. Yani yukarıdaki anlatılan boyutta bir görüntünün özellik vektörü 129×59 boyutunda olacaktır. Şekil 13, her bir alt bölgenin histogramının çıkarılmasını ve sonunda birleştirilmesini göstermektedir.



Şekil 13. Çok bloklü YİÖ histogramlarının çıkarılması ve birleştirilmesi

Başka bir deyişle bu yöntemde, bütün görüntüden tek bir histogramı özellik vektörü olarak çıkarmak yerine, öncelikle bölgesel histogramlar çıkarılıp ve sonunda bu histogramları birleştirerek tek bir histogram elde ediliyor. Bölgesel histogramların birleşiminden oluşan bu histogram, bölgesel dokuların dağılımı hakkında da detaylı bilgi içermektedir.

1.15. Seyreklik Tabanlı Sınıflandırma

Tezin bu bölümünde seyreklik tabanlı sınıflandırma yöntemi ele alınmıştır. Görüntü işlemede sinyallerin seyrek gösterimini sınıflandırma amacıyla Wright ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yüz tanımda önerilmiştir [65]. Bu yöntemin ana fikri; bir görüntüyü diğer görüntülerin seyrek lineer kombinasyonu ile ifade edilebilir olmasıdır ve seyrek lineer kombinasyonunun yüksek katsayıları giriş görüntüsüyle aynı sınıfta olan görüntülere ait olmasıdır. Seyrek gösterim sınıflandırıcısı parametrik olmayan bir yöntemdir ve ayrıca bu yöntem sözlük öğrenmeyi gerektirmeyen ve direkt olarak gelen test görüntüsünün sözlük verisi üzerinden seyrek gösterimini oluşturarak sınıflandırmaya çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemi geliştirerek yapılan çalışmalar büyük bir artışlar elde edilmiştir [66]. Bu yöntemde l_2 normunu kullanarak seyrek sınıflandırıcı sistemini geliştirmişler ve iyi bir başarı elde etmişler [67]. Ayrıca başka bir çalışmada değişik yüz ifadeleri veya kamuflaj yapılan yüzler üzerinde seyreklik tabanlı sınıflandırıcı önermişler ve burada da iyi performans elde etmişler [68].

1.15.1. Sınıflandırmadaki Temel Problem

Gözetim altında olan bir sınıflandırmada hangi sınıfta olduğu bilinmeyen test verisinin k adet farklı sınıf seti içerisinde hangisine ait olduğunun tanımlanması en ana problemdir. Seyreklik gösterimli sınıflandırmada ise ilk önce elde edilen test verisi ile sözlük arasındaki ilişkiyi belirten seyreklik vektörünün hesaplanması gerekmektedir. Çünkü test verisinde görülen seyreklik vektörünün değerlerini kullanmakta olduğumuz sözlük atomlarının olası bir kısmında yoğunlaşacaktır. Test verisinin sözlükte yoğunlaşan atomların doğrusal kombinasyonu ile elde edileceğini ve onların benzerliklerinin bir ölçüsü olarak kabul etmemiz gerektiğini gösterir. Böylece k adet birbirinden başka her sınıfın her biri için malum sayıda atomu içeren bir sözlük kümesinin verildiğini düşündüğümüz zaman, test görüntüsü k adet farklı malum sınıfa ait bu tarz sözlük atomları cinsinden nadir olarak ifade edebiliriz. Seyrek gösterim tabanlı sınıflandırma; seyreklik vektörünün yoğunlaştığı sözlük atomları ile test verisi arasındaki ilişkinin büyüklüğünü ölçebilecek bir metot ile parametrik olmayan, sınıflandırma yapan sert ve gözetimli bir sınıflandırma yöntemidir.

1.15.2. Sözlüğün Oluşturulması

Sınıflandırmada her bir görüntünün boyutu $w \times h = \mathbb{R}^m$ olarak varsayılırsa ve i . sınıfa ait eğitim görüntülerinin sayısı n_i olarak varsayılırsa; A_i , i . sınıfın görüntülerini ifade ederek aşağıdaki denklem (16) gibi tanımlanmaktadır.

$$A_i = [v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,n_i}] \in \mathbb{R}^{m \times n_i} \quad (16)$$

Burada m , görüntülerin özelliklerinin sayısını ve $v \in \mathbb{R}^m$ görüntünün özellik vektörünü göstermektedir. Görüntünün özellik vektörü, görüntünün sütunlarını art arda koyarak elde edilebilir. Böylece tüm eğitim görüntülerinin özellik vektörleri A matrisinde veya başka bir deyişle sözlükte aşağıdaki denklem (17) gibi yerleştirilmektedir.

$$A \doteq [A_1, A_2, \dots, A_k] \quad (17)$$

1.15.3. Test Görüntüsünün Seyrek Olarak Gösterilmesi

Test görüntüsünün seyrek gösterimini elde ettiğimizde, eğer test görüntüsü i . sınıfa ait ise ve i . sınıfın eğitim görüntülerinin sayısı yeterince mevcut olursa; o zaman test görüntüsünün vektörü i . sınıfın eğitim görüntülerine göre doğrusal kombinasyonu yaklaşık olarak aşağıdaki denklem (18) gibi ifade edilebilir:

$$y = \alpha_{i,1} v_{i,1} + \alpha_{i,2} v_{i,2} + \dots + \alpha_{i,n_i} v_{i,n_i} = A_i \alpha_i \quad (18)$$

Burada α_i hakiki katsayılar olarak her vektörün ağırlığını göstermektedir.

Bilindiği gibi test görüntüsünü tanımlama zamanında hangi sınıfa ait olduğu belli değildir. Bu nedenle y test vektörü tüm eğitim vektörlerine göre doğrusal kombinasyonu aşağıdaki denklem (19) gibi ifade edilir:

$$y = Ax_0 \in \mathbb{R}^m \quad (19)$$

Burada $x_0 \in \mathbb{R}^n$ olmak üzere seyrek katsayı vektörüdür. Bilindiği gibi ideal durumda i . sınıfa ait unsuların dışında tüm unsurların değerleri sıfır olacaktır. Böylece x_0 gösterimi aşağıdaki denklem (20) gibi olacaktır:

$$x_0 = [0, \dots, 0, \alpha_{i,1}, \dots, \alpha_{i,n_i}, 0, \dots, 0]^T \in \mathbb{R}^n \quad (20)$$

Burada n eğitim vektörlerinin sayısını ifade etmektedir. Böylece test numunesi olarak tanınan y 'in kimliğini x_0 vektörünün unsurları göstermektedir. Dolayısıyla doğrusal denklem sistemi $y = Ax$ 'in çözümü önemlidir. Çünkü x 'in gösterimini ele almak için tüm eğitim numunelerinden yararlanmak gerekmektedir.

Çok açıktır, doğrusal denklem sistemi $y = Ax$ 'in sonucu doğrusal denklem sayısı olan m 'in n sayısı bilinmeyen değişkenle orantılıdır. Eğer $m > n$ olursa, doğrusal denklem sistemi $y = Ax$ aşırı belirlenen olacaktır ve kolaylıkla tek bir cevap bulunabilecektir. Öte yandan eğer $m < n$ olursa, doğrusal denklem sistemi $y = Ax$ az belirgin olacaktır ve bu nedenle bu doğrusal denklem sisteminin cevabı tek olmayacaktır.

Dolayısıyla bu meselenin çözümü ℓ_2 normunun cevabın yani aşağıdaki denklemden yararlanılmaktadır.

$$\ell_2: \hat{x}_0 = \operatorname{argmin} \|x\|_2 \quad \text{Subject to} \quad y = Ax \quad (21)$$

Bu meselenin optimizasyonu, matrisin Pseudoinverse ile çözülebilmektedir. Ama cevap seyrek olmadığına göre test verisinin tanımlama işleminde özel bilgileri içermeyecektir. Bu meselenin doğasına göre seyrek gösterim yöntemi $y = Ax$ denkleminin en seyrek cevabı aşağıdaki denklem (22) gibi önerilmiştir.

$$\ell_0: \hat{x}_0 = \operatorname{argmin} \|x\|_0 \quad \text{Subject to} \quad y = Ax \quad (22)$$

Burada $\|\cdot\|_0$, ℓ_0 normudur ve sıfır olmayan unsurların sayısını hesaplar. Eğer \hat{x} 'deki sıfır olmayan unsurların sayısı aşağıdaki denklem (23)'de verilen ölçüden az ise, bu cevap tek olacağı ve yani $\hat{x}_0 = x_0$ olacağı iki tane çalışmada ispatlanmıştır (45 ve 56).

$$\|\hat{x}_0\| < \frac{\operatorname{spark}(A)}{2} \leq \frac{m+1}{2} \quad (23)$$

Bilindiği gibi en seyrek cevabın bulunması zor bir mesele olduğuna göre yaklaşık ℓ_1 minimizasyon yöntemi Wright ve arkadaşları tarafından aşağıdaki denklem (24) gibi önerilmiştir [65].

$$\ell_1: \hat{x}_0 = \operatorname{argmin} \|x\|_1 \quad \text{Subject to} \quad y = Ax \quad (24)$$

Burada ℓ_0 normunun ℓ_1 normu ile değiştirilmesi, optimizasyon meselesini dışbükey bir meseleye dönüştürmektedir ve temel aramaya uygun yöntemler mevcuttur [69]. [70] referanslı çalışmada çoğu aşırı belirlenen doğrusal denklem sistemlerinde ℓ_0 ve ℓ_1 normlarının minimize edilmesi neticesinde seyrek bir cevabın bulunacağı ispatlanmıştır.

1.15.4. Doğru Sınıfın Seçilmesi

Tanımlama işleminde en son aşama, \hat{x}_0 vektörüne göre uygun sınıfın seçilmesidir. 5. denklemde gösterildiği gibi ideal durumda \hat{x}_0 'ın unsurlarında sadece test verisine ait olan sınıfın unsurları sıfır olmayacaktır. Ama gerçek durumda bazı diğer sınıflara ait unsurların katsayıları sıfır olmayabilir. Wright ve arkadaşları doğru sınıfı seçmek için mantıklı bir yöntem önermişler [65]. Önerilen yöntemde önce tüm sınıfların hatası hesaplanır. Her sınıfın hatasını hesaplamak için diğer sınıfların katsayıları sıfır olur ve sonra bu katsayılarla üretilen vektörün mesafesi girdi vektörü ile hesaplanır. Sonuçta en küçük hatası olan sınıf seçilecektir. Aşağıdaki denklem (25) bunu ifade etmektedir.

$$\min_i r_i(y) \doteq \|y - A\delta_i(\hat{x}_0)\|_2 \quad (25)$$

Burada $\delta_i(\hat{x}_0)$ aynı \hat{x}_0 vektörüdür. Burada diğer sınıflara ait katsayılar sıfırla beraberdir. $r_i(y)$ i. sınıfın katsayıları, y vektörü ile üretilen vektörün mesafesini göstermektedir. Böylece hangi sınıfın $r_i(y)$ değeri en aza sahip olursa, o sınıf doğru sınıf olarak seçilecektir.

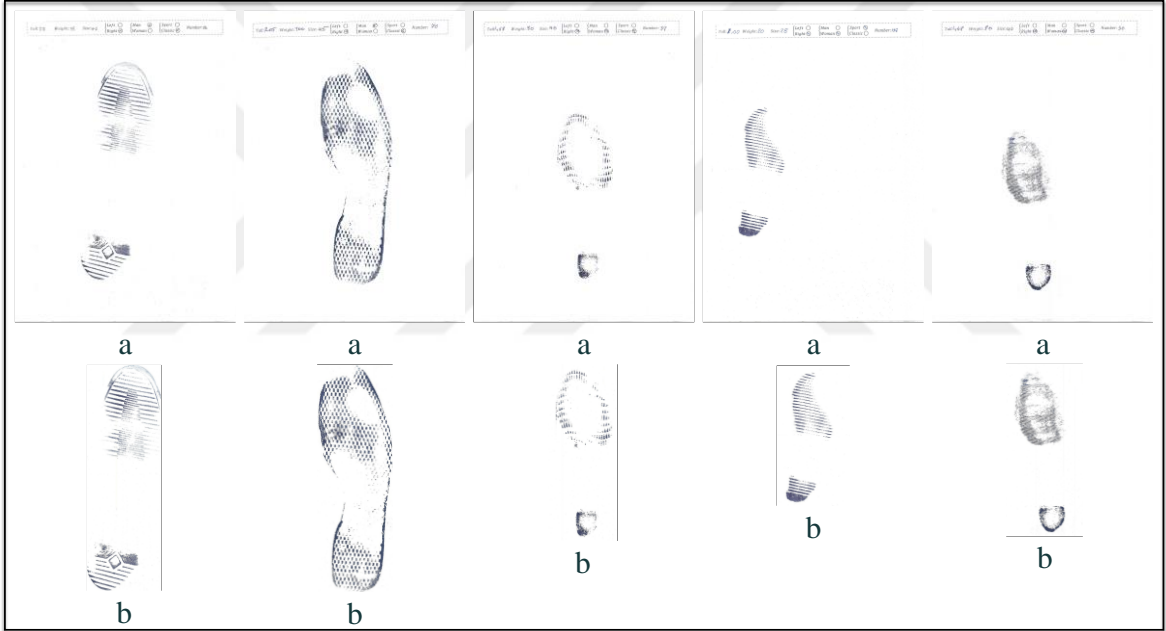
1.16. Veri Tabanı

Araştırmalarda kullanılan veri tabanları, bilgi toplamak amacıyla aranabilecek makaleler, periyodik, kitaplar, grafikler ve multimedya gibi bilgisayarlaştırılmış bilgi ya da verilerin toplandığı koleksiyonlardır. Bu çalışmada önerilen yöntemlerin başarılı olup olmadığını test etmek için veri tabanı gerekmektedir. Bu çalışmaya başlandığı zaman internet ortamında ücretsiz hiçbir veri tabanı bulunmamaktaydı. Bu sorunun giderilmesi amacıyla bir veri tabanının kendimizce oluşturulması mecbur hale gelmişti. Dolayısıyla Iranian-Turkish Shoeprints Database (İTSPDB) adlı bir veri tabanı oluşturduk. Bu bölümün devamında kendi veri tabanımızı anlatmaya çalışacağız. Ayrıca son zamanlarda araştırmalarda kullanılmış olan bir veri tabanı ücretsiz olarak internet ortamına taşındı ve önerdiğimiz sistemlerin birisini test etmek için de o veri tabanını kullandık ve bu bölümün sonunda onu da kısaca anlatmaya çalışacağız.

Bu çalışmada; İran'ın Miandoab ve Türkiye'nin Trabzon şehirlerinden katılımcılar davet edilerek onların ayakkabı izi görüntüleri toplanmıştır. Bu veri tabanının ismi *İran ve Türkiye Ayakkabı İzleri* olarak adlandırılmıştır (İTSPDB). Ayakkabı izlerini toplamak için 1000 adet 35 cm ve 22 cm boyutlu kâğıtlar kullanılmıştır. Ayakkabının ve ayakkabıyı kullanan kişinin bazı özelliklerini kaydetmek için öncelikle tüm kâğıtların üst kısmına özelliklerin başlıkları yazdırılmıştır. Ayakkabıyı kullanan kişinin boyu, kilosu, yaşı ve ayrıca ayakkabının stili ve kaç numara olduğu bir form içinde kâğıtların baş kısmında yazılan özelliklerdir. Ayakkabı izlerinin kaydedilmesi için önce katılımcıların ayakkabılarının alt kısmı mürekkebe bulaşmış olması gerekmektedir. Çünkü eğer ayakkabıların alt kısmı mürekkebe bulaşmaz ise o zaman istediğimiz izi kâğıtlar üzerinde düşmesi mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla katılımcılar öncelikle ayakkabıları ile bir pet mürekkep üzerinde yürüyorlar. Sonra ayakkabının alt kısmı mürekkebe bulaştığı için bir kez de kâğıt üzerinde yürüyorlar. Şimdi katılımcı yürüdükten sonra ayakkabının izi kâğıt üzerinde düşmüş olacaktır. Ardından ayakkabıyı kullanan kişinin ve ayakkabının özelliklerini kaydetmek amacıyla özellikler, kâğıtlarda belirtilen kısma kaydedilir. Şunun açıklamasında yarar var: Ayakkabı sahibinin kimliğine ilişkin hiçbir bilgi kaydedilmemiş ve ayrıca tüm alınan ayakkabı izleri tüm katılımcıların sağ ayaklarından alınmıştır. Ayrıca aynı desene sahip olan ayakkabılardan başka kişilerden bulunmasının zor olduğu için her ayakkabıdan beş defa ayrı ayrı ayakkabı izi alınmıştır. Numunelerin alınması esnasında dikkatleri çeken bir noktaya değinmek gerekmektedir; bir ayakkabı izinden beş kez alınan ayakkabı izlerinin birbirinden biraz farklı olmasıydı. Çünkü bir ayakkabı, yüzey üzerindeki her bir temasında özellikle kenarlarında bıraktığı ayakkabı izlerinde küçük farklılıklar oluşturur. Ayrıca bu veri tabanının en güçlü noktalarından birisi, ayakkabı izlerinin nasıl alındığıdır. Yani ayakkabı izlerinin alınması esnasında, ayakkabının altındaki deseni tamamen almak yerine bir gerçek ayakkabı izi alınmıştır. Yani veri tabanında görüldüğü gibi ayakkabı izlerinin hiçbirisi bütün ayakkabının izini kapsamamaktadır ve çoğu izlerde % 70 oranında ayakkabının izi bulunmaktadır. Bu da alınan ayakkabı izlerinin olay yerindeki ayakkabı izlerine benzemesi demektir. Bilindiği gibi olay yerindeki ayakkabı izlerinde her zaman ayakkabının altındaki desenin tamamı yüzey üzerinde kalmıyor. Böylece bizim aldığımız ayakkabı izi görüntülerinde ayakkabının altındaki desenlerin çoğu kaydedilmemiştir. Şekil 14'de aldığımız ayakkabı izi görüntülerinden birkaç tanesini gösterilmektedir. Böylece bu veri tabanı gelecekte bir standart veri seti olarak da çalışmalarda kullanılabilir. <http://ceng2.ktu.edu.tr/~itspdb/>

Sonra veri tabanını dijital ortama taşımak için kâğıtlar 300 nokta çözünürlük ve 4960*3507 boyutunda Canon iRc5185i fotokopi makinası ile taranmışlardır. Bazı ayakkabı izi görüntülerinin aynı olması ve bazılarının kullanılmaz halde gelmesi nedeni ile taranan ayakkabı izleri 190 adet beşli sınıflara bölündü. Yani sonunda veri tabanının toplam 950 adet ayakkabı izi vardır ve 190 sınıftan oluşmaktadır. Her sınıfta 5 adet ayakkabı izi bulunmaktadır.

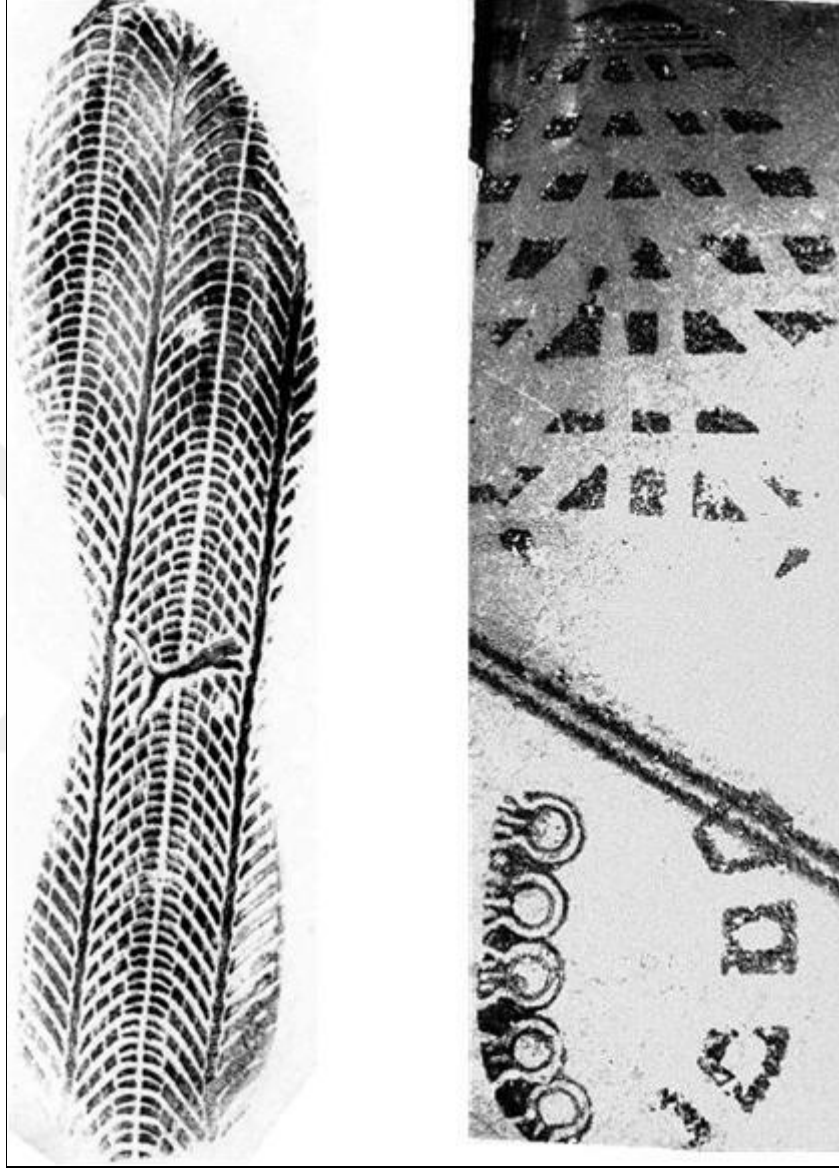
Ayakkabı izi görüntülerini kullanmak için ayakkabı izi görüntülerinin yukarı kısımlarındaki kaydedilmiş bilgiler Paint yazılımıyla kesilip ve sadece ayakkabının izi kalarak JPG formatında kaydedilmiştir. Şekil 14’de kenarları kesilmiş olan ayakkabı izlerinin örneği gösterilmektedir.



Şekil 14. Katılımcıların ayakkabı izlerinden alınan birkaç örnek

Basel Üniversitesi'nin veri tabanındaki örnekleri, olay yerinde adli tıp uzmanları tarafından güvence altına alınmış ayakkabı izlerini içermektedir [47]. Bu sayısal görüntüler, jelatin kaldırmacılar ile taranarak veya izleri fotoğraflayarak üretildi. Ayrıca, veri tabanında 1175 adet referans ayakkabı izi görüntüsü ve 170 adet test ayakkabı izi görüntüsü bulunmaktadır. Referans numuneleri jelatinli kaldırmacıları ayakkabının dış tabanına uygulayarak, ardından kaldırmacıları tarayarak üretilmişti. Dolayısıyla, veri oluşturma süreci her iki gösterim türü için de çok benzerdir. Veriler, her olay yeri baskısı

için ilgili referans gösterimin adı olduğu anlamına gelir. Basel Üniversitesi'nin veri tabanındaki ayakkabı izi görüntülerinden birkaç örnek aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 15. Basel Üniversitesi'nin veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri

Bazı yapay veri tabanlarda kullanılan ayakkabı izlerine dikkat edilmesi gerekmektedir [2, 37, 46]. Bu çalışmalarda verdikleri bilgilere göre veri tabanının oluşturulmasında kullanılan kâğıtlar küçüktür. Yani bunlarda kullanılan kâğıtların boyutları 11,69×8,27 inç yani A4 kâğıtlar kullanılmıştır. Malum A4 kâğıtlar 44 ve 45 numaralı ayakkabıların boyutlarından küçüktür. Yani eğer bu ayakkabıların izleri bu kâğıtların üzerine kaydediliyorsa, bu ayakkabı izlerinin bazı kısımları kâğıtlara sığmamış

olacaktır. Bu durumda demek o ki onlar küçük ayakkabıların izlerini almışlar ve veri tabanları küçük ayakkabı izi görüntülerinden oluşmaktadır. Ama bizim oluşturduğumuz veri tabanında her numaradan mevcut olan ayakkabı izlerinden yararlanılmıştır.



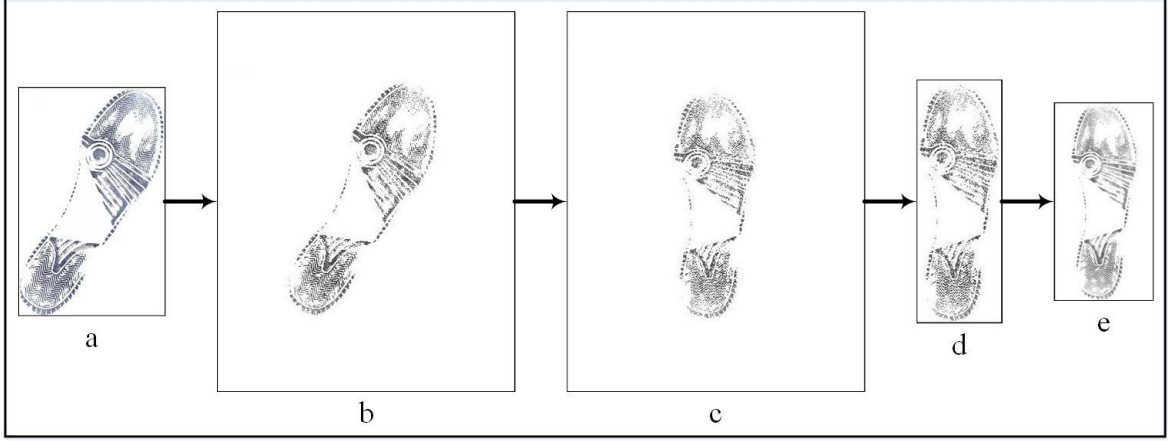
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada ayakkabı izlerini tanımlamak için iki tane otomatik sistem önerilmiştir. Otomatik sistemlerin ikisinde de anlatıldığı gibi öncelikle eğitim ve test veri tabanları oluşturulmuştur. Kendi veri tabanımızda kullanılan ayakkabı izi görüntüleri, katılımcıların ayakkabı izlerinden temin edilmiştir ve tezin bu bölümünde kendi veri tabanımızı; İTSPDB diye adlandıracağız. İTSPDB veri tabanı, 190 adet beşer ayakkabı izi sınıfından oluşmaktadır. Ayrıca her sisteme göre eğitim ve test veri tabanlarında farklı sayıda ayakkabı izi görüntüleri kullanılmıştır. Örneğin bir sistemdeki eğitim veri tabanında, her sınıfta bir tane ayakkabı izi mevcuttur ve diğer dört tane ayakkabı izi, test yapmak için test veri tabanında kullanılmıştır. İkinci sistemde, eğitim veri tabanının her sınıfında bir ayakkabı izi görüntüsü ve test veri tabanında da her sınıfta bir ayakkabı izi görüntüsü kullanılmıştır. Her iki sistemde; sistemin performansını artırma amacıyla ayakkabı izi görüntüleri sisteme giriş olarak verilmeden önce üzerlerinde çeşitli ön işlemler yapılmıştır. Ön işleme aşamasında öncelikle, görüntü ilk başta gri seviyeye dönüştürülür, ardından ayakkabı izi görüntüsü gerektiği açı kadar döndürülür ve sonunda sisteme göre standart bir boyuta sokulur. Ön işleme aşaması bittikten sonra, sistemine göre eğitim setindeki görüntüleri en iyi şekilde temsil edecek, ayırt edilebilmesini sağlayacak özelliklerin elde edilmesi için Öznitelik Çıkartım Yöntemi uygulanır. Öznitelik Çıkartım yöntemlerinden Çok Seviyeli, Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü ve Çok Bloklu Seyrek Gösterim kullanılarak ayakkabı izine ait özellikler çıkartılıyor. Sonunda sistemine göre, elde edilen özelliklerden yararlanarak giriş görüntüsünün sınıfı belirlenir.

2.1. Ön İşleme

Ön işleme aşaması, veri tabanındaki ayakkabı izi görüntülerini gerekli duruma getirmek için çeşitli işlemleri içermektedir. Bu aşama ayakkabı izlerini tanımlama için en önemli ve en kritik aşamalardan birisidir. Eğer ön işlemler doğru bir şekilde uygulanırsa önerilen yöntemde ayakkabı izlerinin tanımlamasının dikkatini ve verimliliğini artıracaktır. Bu nedenle özellik çıkarma aşamasından önce ayakkabı izlerinin üzerinde bazı

önişlemlerin yapılması gerekmektedir. Şekil 16’da ayakkabı izi görüntülerinin üzerine uygulanan önişlemler, özet olarak sırayla gösterilmektedir.



Şekil 16. Ayakkabı izlerinin üzerinde uygulanan önişlem adımlarının özeti

2.1.1. Gürültü Temizleme

Önişlemede ilk yapılan iş, ayakkabı izi görüntülerinin sicil yapıldığı ve tarandığı zaman görüntüye eklenen gürültülerin silinmesidir. Bu amaçla, önce renkli ayakkabı izi görüntüsü gri seviye görüntüsüne dönüştürülür. RGB uzayında olan renkli piksel bilgilerinden gri seviye piksel değerlerine dönüşüm yapmak için R bileşeni 0.33, G bileşeni 0.56 ve B değeri 0.11 katsayıları ile çarpılıp bu değerlerin toplamı denklem 27 gibi elde ediliyor.

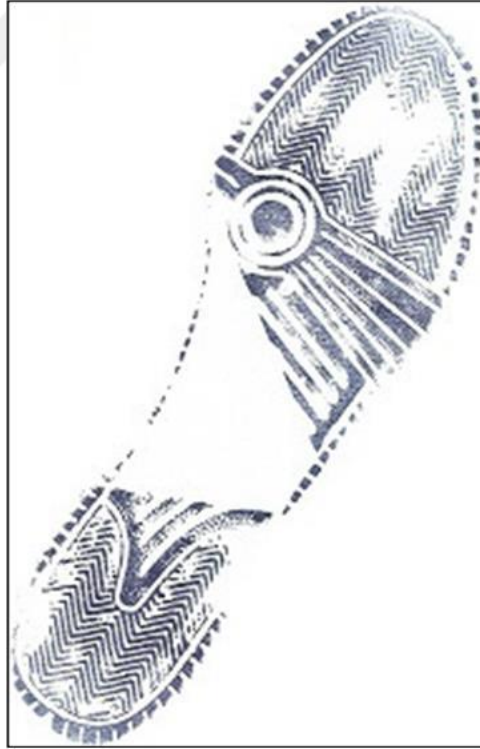
$$P_{gri} = 0.33P_R + 0.56P_G + 0.11P_B \quad (26)$$

Sonra ayakkabı izi görüntüsünün gürültülerine medyan filtresini uygulayarak gürültüler temizlenir. Bu medyan filtresi görüntü işlemede ve sinyal işlemede gürültü temizlemek için kullanılan yöntemlerden birisidir. Amaç belirli bir pencere aralığındaki sayıların ortancasını alarak aşırı büyük gürültülerin kaldırılmasıdır. Yani filtre uygulandıktan sonra ayakkabı izi görüntüsünde bulunan ve komşularından belirgin bir şekilde ayrılan pikseller tespit edilerek temizlenmektedir. Tabii ki görüntülerde 5 pikseli komşu medyan filtresi ile temizlenmeyen büyük gürültülerin de bulunması mümkündür.

Gürültü temizleme işleminin devamında izin daha da temiz bir şekilde arka plandan ayırt edilmesi için bilinen Otsu Yöntemi'nden yararlanılmıştır.

Gri seviyeli resimden ikili resme geçişte bir eşik değerin belirlenmesi gerekiyor. Burada eşik değeri bulmak için en çok kullanılan yöntemlerden birisi Otsu Yöntemi'dir. Otsu Yöntemi, en genel haliyle piksel değerlerinin olasılık dağılımlarını inceleyerek bir eşik değeri belirlemektedir.

Böylece ayakkabı izi görüntüsüne Otsu Yöntemi ile eşikleme yapılır. Sonra Otsu Yöntemi'nin çıkış görüntüsünden yararlanılarak ayakkabı izini şekillendiren pikseller, görüntünün arka planından ayrılır. Şekil 16'da ayakkabı izinin gürültü temizleme adımı gösterilmektedir. Aslında Otsu'dan önce medyan filtresinin uygulanması görüntüde bireysel olarak bulunan gürültülerin şiddetini azaltır ve toplu bir şekilde bulunarak ayakkabı izini oluşturan piksellerin şiddetlerinin çoğaltmasına neden olur. Bu işlem Otsu Yöntemi'nin eşikleme işleminin doğru bir şekilde segmentasyon yapmasına yardımcı olur. Şekil 17'de girdi olarak bir ayakkabı izini gösterilmektedir.



Şekil 17. Girdi olarak bir ayakkabı izi

ile döndürme işleminde öz vektör ve ağırlık merkezi kavramlarından yararlanılarak görüntüleri döndürme amaçlanır.

Döndürme işlemi cismin ağırlık merkezi etrafında yapılacağı için öncelikle cismin ağırlık merkezinin bulunması gerekiyor. Ağırlık merkezi de cismin alanıyla ilişkilidir. Alan ifadesi aşağıdaki denklem (27) şeklinde verilmiştir.

$$A_i = \sum_{r=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{M-1} I_i(r, c) \quad (27)$$

Alan hesaplandıktan sonra bir nesnenin ağırlık merkezinin koordinatları denklem (28) bağıntılarıyla bulunuyor.

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{1}{A_i} \sum_{r=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{M-1} r \times I_i(r, c) \\ y_i &= \frac{1}{A_i} \sum_{r=0}^{N-1} \sum_{c=0}^{M-1} c \times I_i(r, c) \end{aligned} \quad (28)$$

İki veya daha fazla boyutlu verilerin işlenmesinde kovaryans ölçümü kullanılmaktadır. Kovaryans, iki rastgele değişkenin beraber değişimlerini inceleyen bir istatistiktir. İki boyut için kovaryans değerleri aşağıdaki denklem (29) şeklinde hesaplanır.

$$Kovaryans(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \times (Y_i - \bar{Y})}{n - 1} \quad (29)$$

Eğer iki boyut arasında kovaryans değeri pozitif çıkıyorsa her iki boyut birlikte arttığı anlaşılır. Eğer negatif çıkıyorsa bir boyutta artış varken değerinde azalma olduğu anlaşılır. Dönme işleminde iki değişken arasındaki ilişkiyi gösteren, iki boyutlu kovaryans matrisi kullanılmaktadır. Bu matris denklem (30) bağlantısıyla verilebilir.

$$K = \begin{bmatrix} T_{xx} & T_{xy} \\ T_{xy} & T_{yy} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Bu matrisin elemanları x_c ve y_c nesnenin ağırlık merkezinin koordinatları olmak koşuluyla aşağıdaki denklem (31) şeklinde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 T_{xx} &= \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i, j) \times (i - x_c)^2 \\
 T_{xy} &= \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i, j) \times (i - x_c) \times (j - y_c) \\
 T_{yy} &= \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i, j) \times (j - y_c)^2
 \end{aligned} \tag{31}$$

K kovaryans matrisi oluşturulduktan sonra bu matrisin dönme açısını belirleyen sinüs ve kosinüs değerleri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 \sin \theta &= \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{T_{yy} - T_{xx} + \sqrt{((T_{yy} - T_{xx})^2 + 4 \cdot T_{xy}^2)}}{\sqrt{8 \cdot T_{xy}^2 + 2 \cdot (T_{yy} - T_{xx})^2 + 2 \cdot (T_{yy} - T_{xx}) \cdot \sqrt{((T_{yy} - T_{xx})^2 + 4 \cdot T_{xy}^2)}}} \\
 \cos \theta &= \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{2 \cdot T_{xy}}{\sqrt{8 \cdot T_{xy}^2 + 2 \cdot (T_{yy} - T_{xx})^2 + 2 \cdot (T_{yy} - T_{xx}) \cdot \sqrt{((T_{yy} - T_{xx})^2 + 4 \cdot T_{xy}^2)}}}
 \end{aligned} \tag{32}$$

Bulunan bu değerler, döndürme matrisinde yerlerine yazılarak dönüşüm işlemi gerçekleştirilir. Ancak bu değerler sonucu elde edilecek dönme $0^\circ - 180^\circ$ dereceleri arasında gerçekleştirilmektedir. Sinüs ve kosinüs değerleri yardımıyla dönme matrisi oluşturulup resim üzerindeki her piksel bu matris ile işleme sokulursa piksellerin çıkış resminde hangi piksele karşı düşeceği bulunmuş olur. Bu matris yardımıyla orijinal resmin üzerinde dolaşarak her pikselin çıkış resminde hangi piksele karşı düşeceği belirlenmelidir. x_2 ve y_2 çıkış resmindeki pikselin koordinatlarını, x_1 ve y_1 giriş resmindeki pikselin koordinatlarını, x_c ve y_c de giriş resminin ağırlık merkezinin koordinatlarını belirtmek üzere çıkış resmini oluşturan ifade aşağıdaki denklem (33) şeklinde verilmektedir.

$$\begin{aligned}
 x_2 &= \cos \theta \times (x_1 - x_c) + \sin \theta \times (y_1 - y_c) + x_c \\
 y_2 &= -\sin \theta \times (x_1 - x_c) + \cos \theta \times (y_1 - y_c) + y_c
 \end{aligned} \tag{33}$$

Bu işlemin yapılmasında elde edilmiş olan ayakkabı izi görüntüsünün durumu Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19. Döndürülmüş olan ayakkabı izi

2.1.3. Ölçekleme

Bu adımda, ayakkabı izi görüntüleri 256×128 veya pikselli sabit bir biçimde ölçeklenir. Dolayısıyla görüntüden ayakkabı izi çerçevesini önce belirterek, sonra belirlenen çerçeveyi tüm görüntüden kesmek gerekiyor. Bunu yapmak için görüntüdeki ayakkabı izini içeren ve görüntüde her dörtkenara (sol, sağ, yukarı ve aşağı) en yakın olan piksellerin indeksleri bulunur. Bu dört değer arasındaki alan, görüntünün içindeki ayakkabı izinin çerçevesini belirliyor. Yani belirlenen en aşağı ve en yukarı piksellerin indeksinin arasındaki alan, ayakkabı izinin boyunu belirliyor ve ayrıca en sol ve en sağ piksellerin indeksinin arasındaki alan, ayakkabı izinin enini belirliyor. Bu koordinatların hesaplanması neticesinde, ayakkabı izinin görüntüden ayrılması mümkün olacaktır. Dolayısıyla bu çerçevenin iç kısmını görüntüden kesip ve yeni bir görüntüye yerleştiriyoruz. Bu işin neticesinde ayakkabı izi 256×128 piksel olarak ölçeklemek için hazır durumdadır. Şekil 20, kenarları kesilmiş olan ayakkabı izini göstermektedir.



Şekil 20. Kenarları kesilmiş olan ayakkabı izi

Şimdi bu işi yapmak için önce yeni elde edilen görüntünün boyutları hesaplanır. Eğer ayakkabı izinin boy kısmı, en kısmın iki katından büyük olursa ölçekleme işlemi boya göre yapılacaktır ve eğer değilse ölçekleme işlemi görüntünün enine göre yapılacaktır. Dolayısıyla ölçekleme işlemi boy üzerinde olduğu zaman, ayakkabı izi görüntüsünün boyutları $\left(\frac{256}{\text{çerçevenin boyu}}\right)$ oranında ölçeklendirilir. Böylece görüntünün boyu dikey yönünde 256 piksel olarak değiştirilir ve buna bağlı olarak ayakkabı izi görüntüsünün eni de değiştirilir. Öte yandan eğer ölçekleme işlemi görüntünün enine göre yapılacaksa, ayakkabı izi görüntüsünün boyutları $\left(\frac{128}{\text{çerçevenin eni}}\right)$ oranında ölçeklendirilir. Böylece ayakkabı izi görüntüsü yatay yönde 128 piksel olarak değiştirilir ve buna bağlı olarak ayakkabı izinin boyu da değiştirilir.

Şimdi doğru bir şekilde ayakkabı izini kalıbın tam ortasında yerleştirmek gerekmektedir. Bu işlemi yapmak için elde edilen ayakkabı izi görüntüsünü, iki eşit yere bölen eksen belirleniyor. Aynı şekilde sonuç görüntü olacak görüntüde de öncelikle iki eşit yere bölen ekseni belirleyip ve sonra bu iki ekseni birbirine denk gelecek şekilde ayakkabı izini sonuç görüntüye kopyalanır. Bu işlemin sonucu olarak ayakkabı izi görüntüsü dikey bir şekilde 256×128 kalıbına ölçeklendirilir. Böylece tüm ayakkabı izi görüntüleri bir standart kalıpla ölçeklendirilir ve hepsi aynı koşullar altında değerlendirmeye hazır

durumdadırlar. Ayrıca bu işlem, önerilen yöntemlerin döndürme ve ölçeklemeden bağımsız olmasına neden olur. Şekil 21’de örnek bir ayakkabı izinin üzerinde yapılmış olan önışleme aşamasının son hali gösterilmektedir.



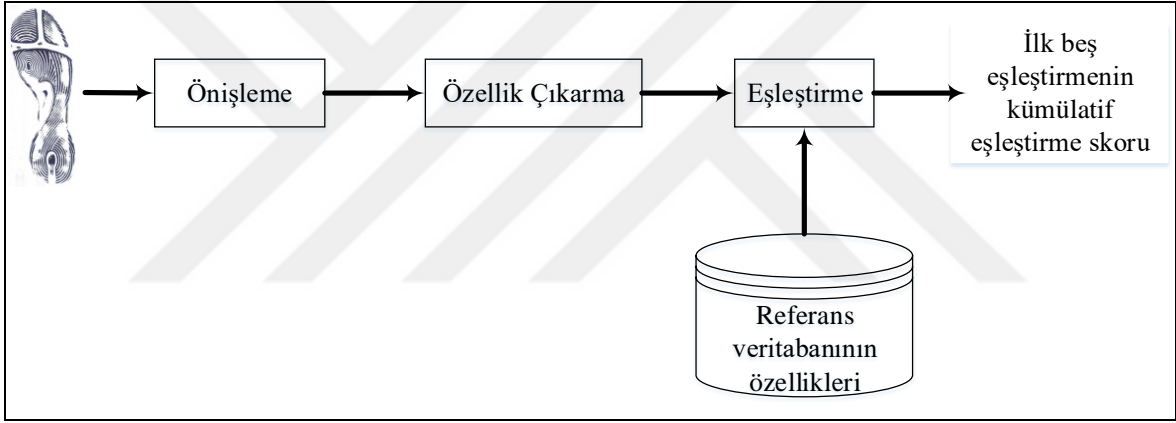
Şekil 21. Ayakkabı izinin üzerinde yapılmış olan önışleme aşamasının son hali

Özellik çıkarma aşamasında ayakkabı izlerinin pençe kısmı yukarı tarafta ve topuk kısmı aşağı tarafta varsayılmıştı. Ayrıca döndürme işleminde hiç insani müdahalenin yapılmaması ve bilgisayarın ayakkabı izlerinin topuk kısmı veya pençe kısmının nasıl olduğundan hiç bilgiye sahip olmaması; bazen hataya neden olmaktadır. Bazen döndürme işleminden sonra ayakkabı izlerinin topuk kısmı yukarı tarafta ve pençe kısmı aşağı tarafta olmaları deneysel olarak görülmüştür. Bu durumda ayakkabı izlerinin uç kısmı yukarı gelecek şekilde ve alt topuk kısmı aşağı gelecek şekilde döndürülmelidir. Bu sorunu çözmek için el vasıtasıyla Microsoft Windows’un Windows Photo Viewer yazılımından kolaylıkla yararlanılarak 180 derece ayakkabı izi görüntüsüne döndürülmüştür.

2.2. Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi ile Ayakkabı İzlerinin Tanımlaması

Şekil 22’de ayakkabı izlerinin tanımlanması için önerilen yöntemin genel düzeni verilmiştir. Bu süreç üç aşamadan oluşmaktadır: Önışleme, Özellik Çıkarma ve Eşleştirme.

Önerilen yöntemin önışleme aşamasında, ayakkabı izlerinin üzerinde birçok önışleme tekniğinin uygulanması gerekli olarak; bu ayakkabı izlerini, özellik çıkarma aşamasına gitmeden önce hazırlamak gerekmektedir. Bu önışleme aşaması gürültü temizleme, gerekli miktarda döndürme ve ölçekleme gibi işlemleri içermektedir. Özellik çıkarma aşamasında, üzerinde önışlemlerin uygulandığı ayakkabı izinin özellikleri önerilen Değıştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi ile çıkarılmaktadır. Eşleştirme aşamasında sorgu yapılan ayakkabı izinin özellikleri Chi-Kare testi kullanarak referans veri tabanının özellikleri ile eşleştirilir. Sonraki kare testinin sonucu sıralanarak bir listede yer alınır. Bu sıralamada listenin başındaki ayakkabı izi sorgu yapılan ayakkabı izine en çok benzeyen görüntü olarak listenin sonuna kadar bu benzerlikler sıralanır. Sonunda listenin ilk n adetinin ($1 \leq n \leq 5$) doğru tanıma puanı hesaplanıp ve sonuç olarak görüntülenir.

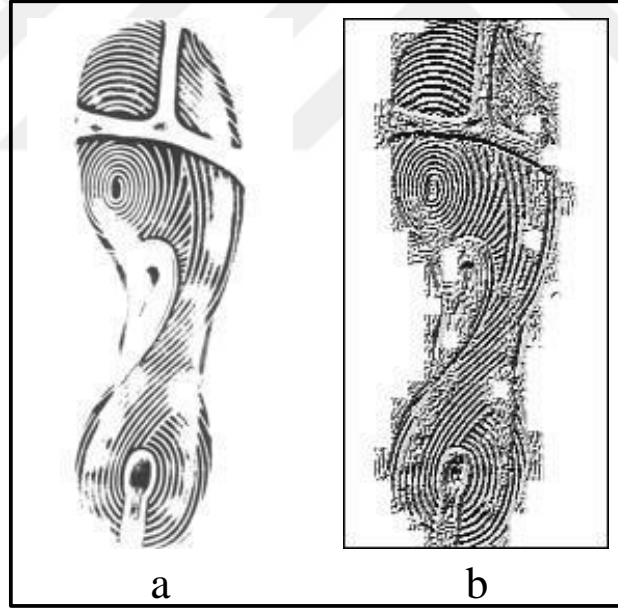


Şekil 22. Önerilen ayakkabı izlerinin tanımlanmasındaki sistemi

2.2.1. Özellik Çıkarma

Özellik Çıkarma Yöntemi, ayakkabı izlerinin tanımlanmasında en hassas ve en önemli aşamalarından biridir. Çünkü ayakkabı izi görüntüsünden çıkarılan özellikler, ayakkabı izinin tüm özelliklerini kapsamak zorundadır. Başka bir deyişle, Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin tanımlama dikkatini artırmak için, elde edilen özellikler doğru bir şekilde ayakkabı izinin bir temsilcisi olması gerekmektedir. Dolayısıyla özellik çıkarma aşamasındaki histogramlar yerel özellikleri de içermesi gerekmektedir. Bu amaçla önerilen yöntemde ayakkabı izi görüntüleri bloklara bölünüyor. Çünkü ayakkabı izi görüntüsü bloklara bölünmediği zaman sadece tüm görüntüye bir histogram elde edilecektir. Bu histogramın da en büyük zaafı binlerin yerel pozisyonlara hassas olmamasıdır. Başka bir

deyişle histogramlardaki değerler görüntünün hangi noktasını belirttiği anlaşılmamaktadır. Öte yandan, genelde görüntüler önce bloklara bölünerek, sonra yerel ikili örüntüsü uygulanır. Bu da yani Yerel İkili Örüntü'nün çalışmasına göre görüntünün bloklarının kenarlarında fazladan yanlış özelliklerin oluşması demektir ve ayrıca kenarlardaki örüntülerin kaybolması demektir. Bu nedenle, bu zafiyeti aşmak ve ayakkabı izlerinin hassasiyetini en yüksek seviyeye çıkarmak için önerilen yöntemde önce ayakkabı izi görüntüsünün Yerel İkili Örüntü'sü hesaplanır, sonra elde edilen Yerel İkili Örüntü'nün sonucu bloklara bölünür. Dolayısıyla bu operatörün sonucunda giriş görüntünün boyutları kadar çıkışta yeni bir görüntü elde ediliyor. Ardından YİÖ sonucu bloklara bölünerek, her bloğun histogramı elde ediliyor. Bunun sonucu olarak, blokların kenarlarındaki kaybolacak özelliklerin ve o kenarlardaki yeni yanlış özelliklerin elde edilme sorunu çözülüyor. Şekil 23'te ayakkabı izi görüntüsünün üzerinde uygulanan Yerel İkili Örüntü Operatörü'nün sonucunu gösterilmektedir.

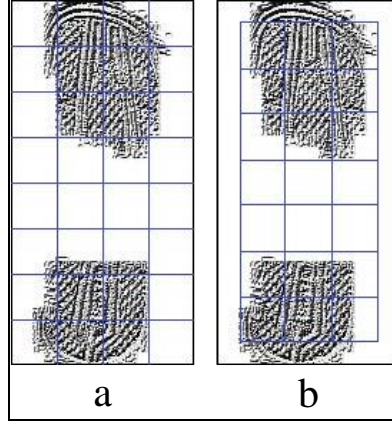


Şekil 23. a) Ayakkabı izi görüntüsü, B) Ayakkabı izi görüntüsünün üzerinde yapılan YİÖ'sünün sonucu

Görüntülerin bloklara bölünmesi otomatik olduğu için ve ayrıca görüntülerin bloklara bölüldüğü zaman insan müdahalesinin hiç olmaması nedeni ile ayakkabı izi görüntüsünün içindeki örüntüler bölünerek bloklara parçalanacaktır. Çünkü eğer görüntünün bloklara bölüldüğü zaman blokları ayıran eksen bir veya çok örüntünün

üzerinden geçerse, o zaman bir örüntünün bir kısmı bir blokta ve diğer kısımları komşularındaki bir veya kaç tane blokta yer alacaktır. Dolayısıyla eğer her blokta bir örüntünün bir kısmı yer alırsa o zaman yanlışlıkla her blokta o kısım örüntü tam bir örüntü olarak tanımlanacaktır. Bu nedenle bir örüntünün kaç tane blokta yer alması, o örüntünün doğru bir şekilde tanımlanması mümkün olmayacaktır ve bu da ayakkabı izi görüntüsünün tanımlanmasında yıkıcı etkiye neden olacaktır. Yani blokların kenarlarındaki örüntülerin özelliklerini doğru bir şekilde çıkarması için ve ayrıca ayakkabı izinin tanımlama aşamasındaki yıkıcı azaltmak için önerilen yöntemde ayakkabı izi görüntüsü iki tane farklı modelde bloklara bölünüyor. Başka bir deyişle eğer bir model blokta bir örüntü bir bloğun kenarında yer alırsa ikinci blokta o örüntü bloğun içinde yer alacaktır. Böylece bir örüntünün bir blokta yer alması neticesinde o örüntünün tüm özellikleri yeni blokta doğru bir şekilde çıkarılacaktır ve bu da ayakkabı izinin tanımlanmasında yıkıcı etkisi çözülecektir.

Ayakkabı izi görüntülerinin bloklara bölünmesi iki tane farklı koordinattan başlayarak örtüşmeyen şekilde görüntünün sonuna kadar devam edecektir. Bu amaçla birinci blokta, ayakkabı izi görüntüsünün bloklara bölünmesi ilk başta görüntünün en sol ve yukarı kısmındaki 1×1 koordinatından başlayarak, 32×32 pikseli bloklara bölünerek görüntünün 256×128 pozisyonuna kadar devam edecektir. Böylece ayakkabı izi görüntüsünün 1×1 pozisyonundan 32×32 pozisyonuna kadar, birinci blok olarak tanımlanacaktır. Ayrıca görüntünün 1×31 pozisyonundan 33×64 pozisyonuna kadar, ikinci blok olarak tanımlanacaktır. Bu bloklama süreci görüntünün en sağ ve aşağı kısmına kadar örtüşmeyen bir şekilde devam edecektir. Son olarak bir ayakkabı izi görüntüsünden, birinci model blokta 32 blok elde edilecektir. İkinci model blokta, bloklama işlemi ayakkabı izi görüntüsünün sol üst köşe pozisyonunun 17×17 pikselinden başlayarak görüntünün sağ alt köşesinin 240×112 pikseline kadar devam edecektir. Dolayısıyla görüntünün 17×17 pikselinden başlayarak 48×48 pikselinde kadar, ikinci model blokta birinci bloğu olarak tanınacaktır. Bu bloklama süreci aynen birinci model blokta olduğu gibi devam edecektir. Böylece ikinci model blokta satırlarda 3 blok ve sütunlarda 7 blok oluşacaktır. Son olarak bir ayakkabı izi görüntüsünün ikinci model blokta 21 tane blok oluşacaktır. Bu durumda her iki model blokta toplam 53 tane blok elde edilecektir. Şekil 24, ayakkabı izi görüntüsünün üzerinde yapılan her iki model blokta gösterir. Aslında şekildeki mavi çizgiler blokların yerlerini gösterme amacını taşır. Çünkü bu çizgiler önerilen bloklama modelinde olmayacaktır.



Şekil 24. a) Birinci model bloklama b) İkinci model bloklama

Devamında; görüntünün özelliklerini ayıklamak için birinci model bloklamanın tüm bloklarının ayrı ayrı histogramı hesaplanır ve birinci özellik matrisine kaydedilir. Ardından ikinci model bloklamada tüm blokların ayrı ayrı histogramı hesaplanır ve ikinci özellik matrisine kaydedilir. Böylece görüntünün özellikleri iki tane özellik matrisini içerecektir. Birinci özellik matrisi 8×4 unsurdan oluşmaktadır ve her unsurda bir histogram 256 değeri içermektedir. Ayrıca ikinci özellik matrisi 7×3 tane unsurdan oluşmaktadır ve her unsur bir histogramın 256 değerini içermektedir. Şekil 25'de a bölümü birinci bloklamanın tekâbül ettiği histogramlarının genel bakışını ve şekil 25'de b bölümü ikinci bloklamanın tekâbül ettiği histogramların genel bakışını göstermektedir. İki tane farklı ayakkabı izi görüntüsünün bitişik bloklarının özelliklerinin arasındaki farkı algılamak için Şekil 26'da onların histogramları verilmişti. İki tane farklı görüntünün karşılık geldiği bloklarının histogramlarının hiç benzemediği oldukça anlaşılmaktadır. Bu histogramlar sorgu yapılan görüntüyü referans veri tabanındaki görüntüler ile eşleştirmek için kullanılmaktadır. Böylece ayakkabı izi görüntüsünün bloklarının histogramları, denklem 35 ve 36 gibi oluşturmaktadır.

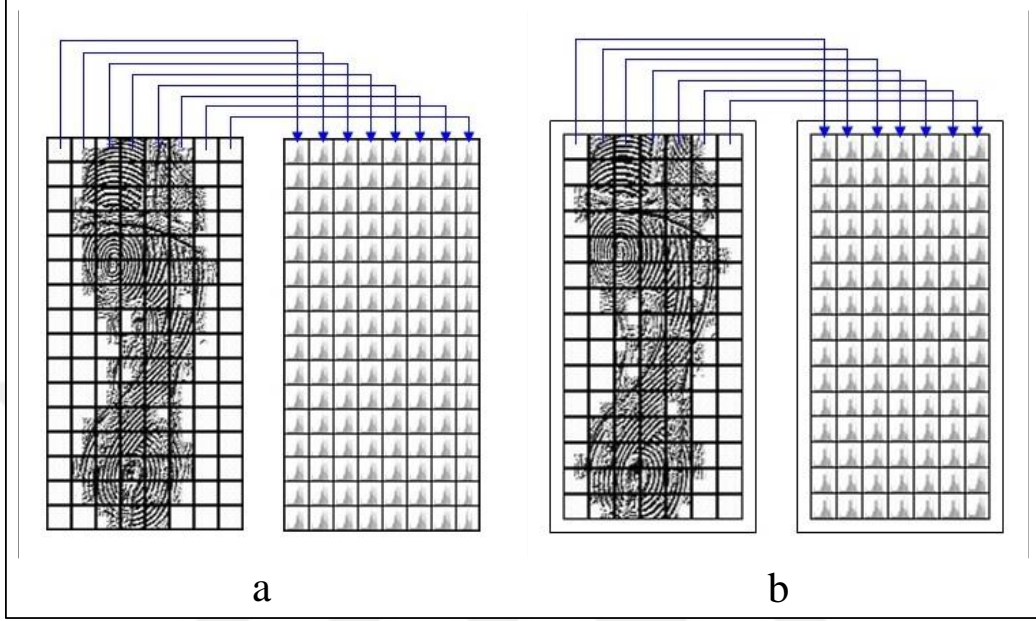
$$FM_{1,i,j} = \text{Hist}(LBP(i \times SB + 1 : i \times SB + SB, j \times SB + 1 : j \times SB + SB)), \quad (34)$$

$$i = 0,1, \dots, 7, \quad j = 0,1, \dots, 3$$

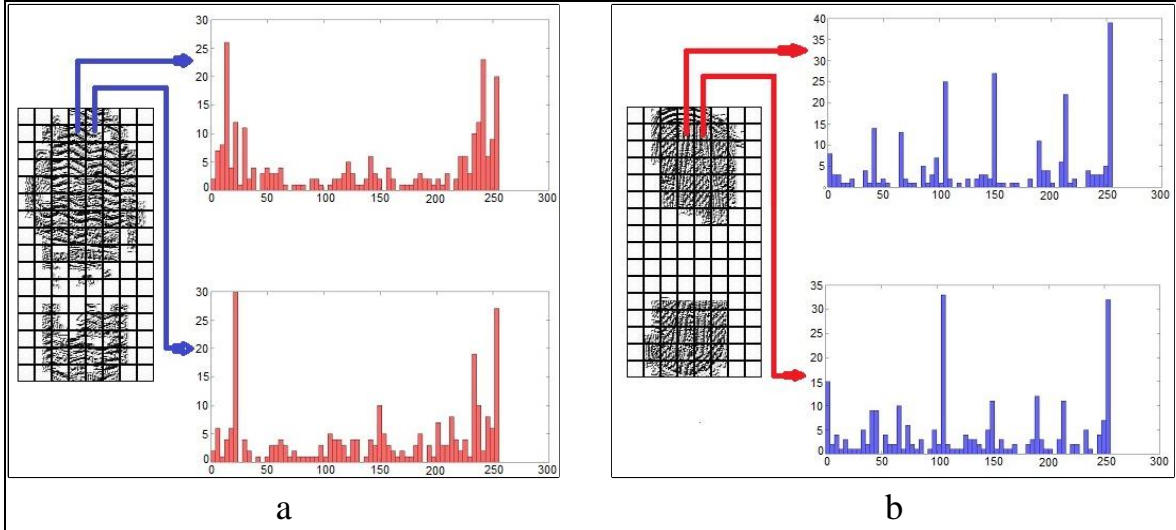
$$FM_{2,i,j} = \text{Hist}(LBP(i \times SB + 17 : i \times SB + SB, j \times SB + 1 : j \times SB + SB)), \quad (35)$$

$$i = 0,1, \dots, 6, \quad j = 0,1, \dots, 2$$

Burada FM özellik matrisi, Hist histogram olarak tanımlanmış ve SB blokların boyutudur ve 32 olarak verilmiştir. $H_{1,i,j}$



Şekil 25. a) Birinci bloklamada karşılık gelen histogramlar b) İkinci bloklamada karşılık gelen histogramlar



Şekil 26. a) Birinci görüntünün iki bitişik bloğunun histogramları b) İkinci görüntünün iki bitişik bloğunun histogramları

2.2.2. Ayakkabı İzi Görüntülerini Eşleştirme

Özellik çıkarma aşamasındaki çıkarılan özellik matrisleri bu aşamada ayakkabı izi görüntülerini eşleştirmek için kullanılmaktadır. Ayakkabı izi görüntüleri bloklara bölündüğüne göre ve bu bölgelerin birbirlerine göre farklı bir öneme sahip olduğu için bunların arasında önemleri dikkate almak gerekmektedir. Dolayısıyla görüntülerdeki örüntü yoğunluğunu göz önüne alarak görüntülerdeki bölgelere az önemsizden çok önemsiz kadar değer verilmektedir. Bu nedenle iki model bloklama yapıldığı için iki tane W_1 ve W_2 ağırlık matrisi kullanılmaktadır. Bu matrislerin değerleri ayakkabı izi görüntülerindeki örüntülerin dağılımına göre veya önemine göre verilmiştir. Yani bu matrisler blokların katsayılarıdır. W_1 ve W_2 ağırlık matrisleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Böylece bu matrislerle histogramların eşleştirilmesiyle (karşılaştırılmasıyla) önemli bölgelerin benzerlik ve farklılık sonuçlarını daha güçlü bir şekilde etkileyecektir. Yani, önemli bölgelerde bulunan benzerlik iki görüntünün benzerliğini ya da tam tersi; önemli bölgelerde bulunan farklılık iki görüntünün benzeşmediğini kastetmektedir. Dolayısıyla bu ağırlık matrislerden yararlanarak böylesi farklılık ve benzerlikleri göz önünde bulundurmalıyız. Böylece şimdi sorgu yapılan görüntünün ve referans veri tabanındaki görüntülerin arasındaki benzerliği hesaplamak için Chi-Kare testi denklem (36)’de verilmiştir. Chi-Kare testinden çıkan değer benzerlik kriteri olarak kullanılmaktadır. Bu denklemle sorgu yapılan görüntünün blokları veri tabanındaki görüntülerin blokları ile karşılaştırılacaktır. Sonra blokların karşılaştırma sonucunda elde edilen değerlerin toplamı sorgu yapılan görüntünün ve veri tabanındaki görüntü arasındaki benzerliği vermektedir. Böylece hangi görüntünün bloklarının karşılaştırma sonucunda elde edilen değerlerinin toplamı sıfıra yakın ise o görüntü sorgu yapılan görüntüye benzediğini vermektedir veya tam tersi; hangi görüntünün bloklarının karşılaştırma sonucunda toplam değeri sıfıra çok uzaksa o görüntünün sorgu yapılan görüntüye benzemediğini vermektedir. Bu yüzden Chi-Kare testinin sonuçları bir listede küçükten büyüğe göre sıralaması yapılır. Sonra listenin ilk beş tanesinin doğru tanımlama puanı; toplam sorgu yapılmış görüntülerin doğru tanınan görüntülerin oranına göre hesaplanır.

Eğer sorgusu yapılan görüntünün ve referans görüntünün özellik matrisleri sırayla P ve Q olursa Chi-Kare testi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\chi_w^2(P, Q) = - \sum_{i,j} w_{i,j} \frac{(p_{i,j} - q_{i,j})^2}{p_{i,j} + q_{i,j}} \quad (36)$$

Burada j indeksinin bölgeye ait histogramı, i indeksinin histograma ait bini ve W bloğunun öneminin katsayısını göstermektedir.

Tablo 2. a) Birinci ağırlıklı matris, (b) İkinci ağırlıklı matris

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

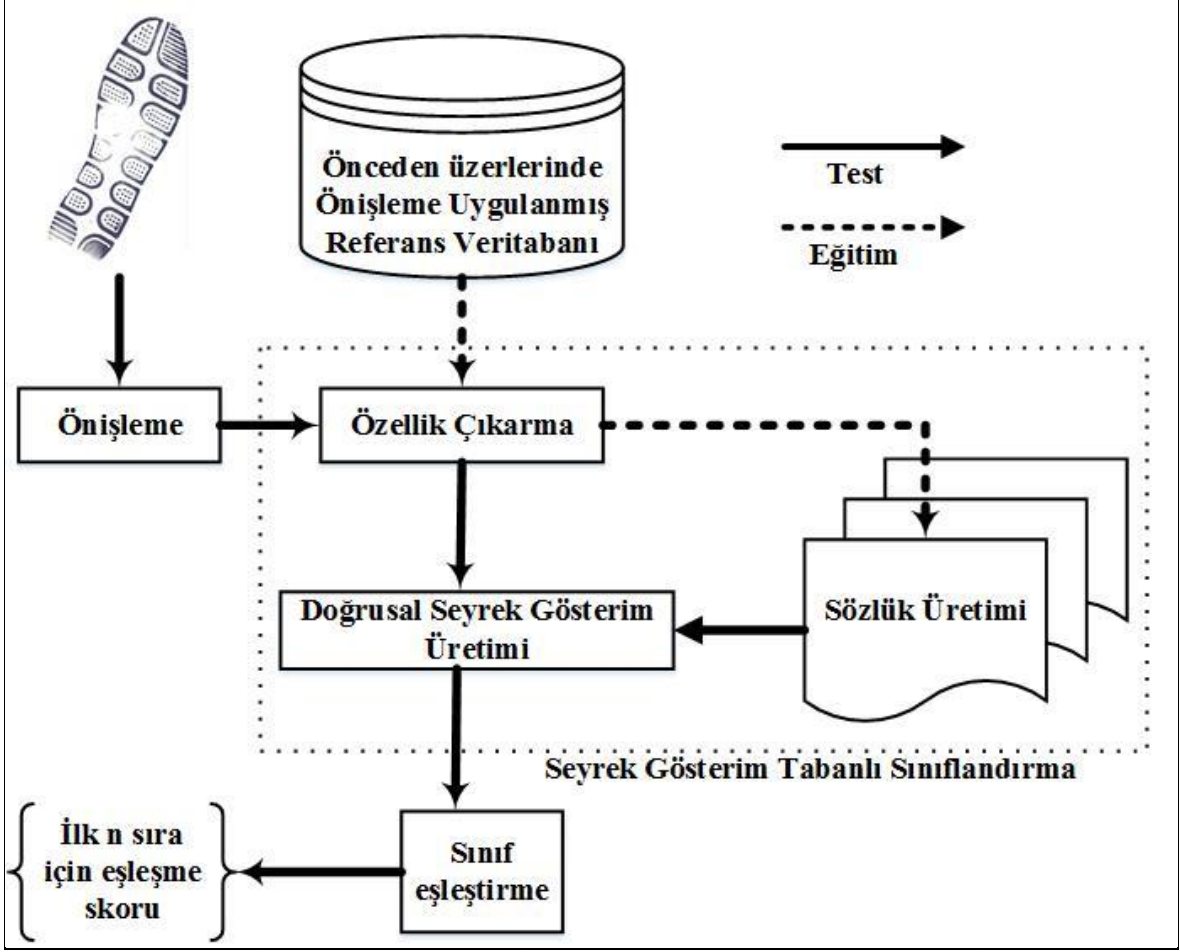
a

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

b

2.3. Çok Bloklü Seyrek Gösterim Yöntemi ile Ayakkabı İzlerinin Sınıflandırılması

Şekil 27’de seyrek gösterimle önerilen yöntemin ayakkabı izlerinin tanımlanması için genel düzeni verilmiştir. Bu süreç ön işleme, seyrek tabanlı sınıflandırma ve ayakkabı izi görüntüsünün sınıfının belirlenmesinden oluşmaktadır. Önerilen yöntemin ön işleme aşamasında, ayakkabı izlerinin üzerinde birçok ön işleme tekniğinin uygulanması gerekmektedir. Yani ayakkabı izleri özellik çıkarma aşamasına geçmeden önce hazırlamak gerekmektedir. Bu ön işleme aşaması gürültü temizleme, gerekli miktarda döndürme ve ölçekleme gibi işlemleri içermektedir. Seyrek gösterim tabanlı sınıflandırmada önce veri tabanı görüntülerinin özellikleri çıkarılır ve sonra sözlük oluşturulur. Ardından test görüntüsünün özellikleri çıkarılarak sözlükle beraber lineer seyrek gösterim oluşturulur. Sonunda ayakkabı izi görüntüsünün sınıfının seçilme aşamasında sınıfların hataları hesaplanır ve sınıflar hata değerlerine göre sıralanır. Bu yöntemde veri tabanı görüntülerin üzerinde ön işleme aşaması önceden uygulanmıştır.



Şekil 27. Seyrek gösterimle ayakkabı izlerinin tanımlanması önerilen yöntem

2.3.1. Seyrek Gösterim Tabanlı Sınıflandırma

Ayakkabı izi görüntülerinin sınıflandırılması seyrek gösterim tabanlı sınıflandırmada en hassas ve en önemli aşamalardan biridir. Seyrek gösterim tabanlı sınıflandırmanın dikkatini artırmak için önerilen yöntemde ayakkabı izi görüntüleri iki tane üst ve alt bölgeye bölünmektedir. Bu işin ana amacı ayakkabı izi görüntüsünden iki tane seyrek gösterim elde edilmesidir. Bu iş ayakkabı izlerinin eşleştirilmesinde dikkati artıracaktır.

Seyrek tabanlı sınıflandırma aşamasının özellik çıkarma adımı her ayakkabı izi görüntüsü iki tane ayrı ayrı 1024*1024 pikseli bloğa bölünür ve sonra her bloğun özellikleri aşağı örnekleme yöntemi ile çıkarılır. Bu şekilde, önce her blok 8*10 piksel boyutuna dönüştürülür ve sonra her bloğun sütunlarını art arda koyarak o bloğun özellik vektörü çıkarılır. Sonuç olarak her bir ayakkabı izi görüntüsü için iki tane 80 eleman uzunluğunda özellik vektörü elde edilir.

Seyrek tabanlı sınıflandırma aşamasının sözlük oluşturma adımında referans veri tabanının görüntülerinden oluşturulmuş olan özellik vektörlerinden yararlanarak iki tane farklı üst kısım sözlüğü ve alt kısım sözlüğü elde edilir. Sonra her sözlük denklem (37) gibi ℓ_2 normundan yararlanarak normalize edilir.

$$\|A\| := \sqrt{A * A} \quad (37)$$

Sonunda seyrek tabanlı sınıflandırma aşamasının seyrek gösterim oluşturma adımında test görüntüsüne iki tane üst kısım seyrek gösterim ve alt kısım seyrek gösterim üretilir. Böylece üst kısım seyrek gösterim üretmek için test görüntüsünün üst kısım özellik vektöründen ve üst kısım sözlükten yararlanır ve ayrıca alt kısım seyrek gösterim üretmek için test görüntüsünün alt kısım özellik vektöründen ve alt kısım sözlüğünden yararlanılmaktadır. Burada seyrek gösterimleri üretmek için denklem (38) gibi ℓ_1 minimizasyon yararlanır.

$$\ell_1: \hat{x}_0 = \underset{x}{\operatorname{argmin}} \|x\|_1 \quad \text{Subject to} \quad y = Ax \quad (38)$$

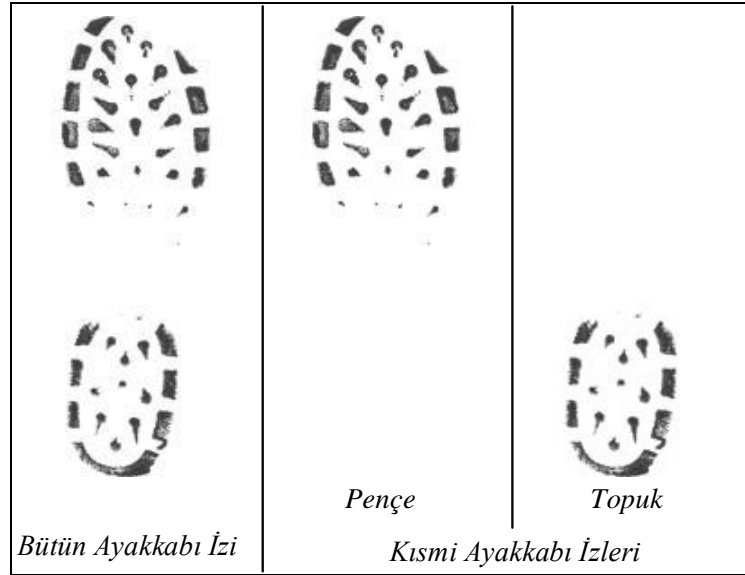
2.3.2. Sınıf Eşleştirilmesi

Bu aşamada seyrek gösterim tabanlı sınıflandırma aşamasında elde edilen seyrek gösterimlerden yararlanarak test görüntüsünün sınıf etiketi tüm sınıfların hataları denklem 10'dan yararlanarak hesaplanır. Bu yöntemde iki tane seyrek gösterim olduğuna göre önce test görüntüsünün üst kısım seyrek gösterimi üzerinden tüm sınıfların üst kısım hataları hesaplanır ve sonra test görüntüsünün alt kısım seyrek gösterimi üzerinden tüm sınıfların alt kısım hataları hesaplanır. Ardından her sınıfın üst kısım hatası ve alt kısım hatası toplanarak tüm sınıfların hataları elde edilir. Sonra sistemin performansını farklı rütbelerde değerlendirmek için tüm sınıfların hataları küçükten büyüğe sıralanır. Sonunda test görüntüsünün sınıf etiketi sıralanmış listenin ilk n tanesinde yer alıyorsa o zaman test görüntüsü doğru şekilde tanınmış olur. Ayrıca doğru tanımlama skoru tüm test görüntülerin sayısı doğru tanımlanmış test görüntülerin sayısı oranına göre hesaplanır. Böylece ilk n rütbenin doğru tanımlama skoru hesaplanır ve çıkışta gösterilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Yöntemler 8MB hafıza, 2.4 GH-Core İ7 işlemci ve Matlab üzerinde uygulanmıştır. Bu çalışmada iki tane yeni sistem önerilmiş ve birkaç farklı sistem uygulanmıştır. Birinci sistem; Çok Bloklü Seyrek Gösterim adlı yöntemdir ve diğeri Değıştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü adlı yöntemidir. Bu bölümün devamında yeni sistemlerin performansları değerlendirilecektir ve her sistemi diğeri yöntemlerle karşılaştırmak için bazen her birine farklı yöntemler uygulanarak sonuçları elde edilmiştir.

Bilindiğı gibi kısmi ayakkabı izleri olay yerinde bütün ayakkabı izlerinden daha fazla görülmektedir. Bu nedenle önerilen yöntemlerin kısmi ayakkabı izi görüntülerine karşı da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kısmi ayakkabı izi görüntülerini üretmek için tam ayakkabı izi görüntülerini pençe ve topuk kısımlarına bölünerek kısmi ayakkabı izleri elde edilmiştir. Böylelikle kısmi ayakkabı izleri için de veri tabanı oluşturulmuştur. Şekil 28'de bir bütün ayakkabı izinden elde edilen topluk ve pençe kısmi ayakkabı izi gösterilmektedir. Bu işlemin yapılması neticesinde 4 tane yeni veri tabanın oluşturulması beklenmektedir. Yani iki tane pençelerden ve topuklardan oluşan referans veri tabanları ve iki tane pençelerden ve topuklardan oluşan test veri tabanları elde edilecektir.



Şekil 28. Bütün ayakkabı izinden elde edilen kısmi ayakkabı izleri

Bilindiği gibi her sistemin bir yerden sonra performansının değerlendirilmesi gerekiyor. Kümülatif Eşleştirme Skoru (KES) olarak tanınan yöntemle sistemlerin performansları değerlendirilmiştir. Kümülatif Eşleştirme Skoru denklem (48)'de verilmiştir.

$$KES = \left(\frac{\text{Doğru tanımlanmış test görüntülerin sayısı}}{\text{Toplam test edilmiş görüntü sayısı}} \right) \times 100 \quad (39)$$

Ayrıca doğru bir şekilde yöntemleri değerlendirme yapabilmek için test veri tabanının ayakkabı izi görüntüleri üzerinde ölçekleme, döndürme, tuz biber gürültü ve beyaz Gauss gürültüleri şeklinde tarif edilmiştir.

3.1. Çok Bloklü Seyrek Gösterim Yönteminin Sonuçları ve Tartışmaları

Önerilen yöntemin performansı önce Wright ve arkadaşlarının önerdiği yöntemle ve sonra Patil, Almadeeda ve De Chazal yöntemleri ile farklı koşullar altında karşılaştırıp [33,37,65,72] sonuçlar tablolarla ve şekillerle gösterilmeye çalışılmıştır. Çok Bloklü Seyrek Gösterim Yöntemi'ni her iki veri tabanı üzerinde değerlendirilmiştir.

Birinci değerlendirmede kullanılmış olan veri tabanı; İTSPDB veri tabanıdır. Bu veri tabanında 190 tane sınıf, her sınıfta beşer iz ve toplamda 950 adet ayakkabı izi görüntüsü mevcuttur. Birinci değerlendirmede referans veri tabanına her sınıftan bir ayakkabı izi görüntüsü ve test veri tabanına her sınıftan bir ayakkabı izi görüntüsü eklenmiştir. Yani referans veri tabanını 190 adet ayakkabı izi görüntüsü oluşturacaktır ve aynı şekilde test veri tabanını da 190 adet ayakkabı izi görüntüsü oluşturacaktır.

İkinci değerlendirme Basel Üniversitesi'nin veri tabanı üzerinde yapılmıştır. Bu veri tabanının referans veri tabanı aynı şekil ve sayıda kullanılmıştır. Ama test veri tabanından sadece 83 adet ayakkabı izi öncelikle seçilmiş; üzerlerinde temizleme yapılmış ve sonra test ayakkabı izi olarak kullanılmıştır.

Ayrıca önerilen yöntemi doğru bir şekilde değerlendirmek için öncelikle seyrek tabanlı gösterim yöntemini $(64 \times 32, 128 \times 64, 256 \times 128, 512 \times 256, 1024 \times 512, 2048 \times 1024, 4096 \times 2048, 8192 \times 4096)$ boyutlarında değerlendirilmiştir. Sonra önerilen yöntemi Wright Yöntemi ile karşılaştırıp ve sonra test görüntülerinin üzerinde ayrı ayrı ölçekleme ve döndürme yaparak değerlendirilmiştir.

3.1.1. Çok Bloklü Seyrek Gösterim Yöntemi'nin Performansını Farklı Blok Boyutlarda Değerlendirmek

İlk deney, önerilen yöntemin farklı blok boyutlarında incelenmesi ile ilgilidir. Önerilen yöntemin blok boyutlarına az duyarlı olduğunu ve farklı blok boyutlarındaki kalıpları tanımlayabileceğini ispatlamak için önerilen yöntem aşağıdaki blok boyutlarında değerlendirilmiştir: $(64 \times 32, 128 \times 64, 256 \times 128, 512 \times 256, 1024 \times 512, 2048 \times 1024, 4096 \times 2048, 8192 \times 4096)$. Tablo 2, farklı blok boyutlarındaki ayakkabı izinin doğru tanımlanmasından elde edilen kümülatif eşleşme skorunun sonuçlarını vermektedir. Görüldüğü gibi, ayakkabı izi görüntülerinin blok boyutlarındaki değişiklikler, kümülatif eşleşme skoru üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Dolayısıyla, Tablo 2, önerilen yöntemdeki blok boyutlarının seçiminin nedenini ortaya koymaktadır. Başka bir deyişle en iyi performans (256×128) blok boyutunda elde edilmiştir.

Tablo 3. Önerilen yöntemde farklı blok boyutlarına sahip ayakkabı izi görüntülerinin tanımlanması

| Boyut | Kümülatif Eşleştirme Skoru | | | |
|-----------|----------------------------|------------|------------|--------------|
| | İlk Birinci | İlk İkinci | İlk Üçüncü | İlk Dördüncü |
| 64×32 | 96.32 | 98.42 | 99.47 | 100 |
| 128×64 | 96.84 | 98.95 | 100 | 100 |
| 256×128 | 99.47 | 100 | 100 | 100 |
| 512×256 | 96.84 | 97.90 | 97.90 | 97.90 |
| 1024×512 | 96.84 | 98.42 | 98.95 | 99.47 |
| 2048×1024 | 97.37 | 98.42 | 98.95 | 99.47 |
| 4096×2048 | 97.37 | 99.47 | 99.47 | 99.47 |

3.1.2. Çok Bloklü Seyrek Gösterim Yönteminin Performansının Değerlendirilmesi ve Wright, Almaadeed ve Patil ve Philip de Chazal'ın Yöntemleri ile Karşılaştırılma

Bu deneyde önerilen yöntem; Wright, Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal'ın yöntemleri ile birlikte performansları incelenmiş ve kümülatif eşleşme skoru açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin yanı sıra diğer dört yöntemin analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntem için birinci sıradaki kümülatif eşleşme skorunun, bütün ayakkabı izleri için % 99.47, pençe kısmı ayakkabı izleri için % 80.53 ve topuk kısmı ayakkabı izleri için % 79.47 olduğunu ortaya koymuştur. Önerilen

yöntemin ilk iki sırasındaki kümülatif eşleşme skoru, bütün ayakkabı izleri için % 100, pençe kısmı ayakkabı izleri için % 86.32 ve topuk kısmı ayakkabı izleri için % 87.37 olmuştur.

Wright yöntemi ile ilgili olarak, ilk birinci sıradaki kümülatif eşleşme skoru; bütün ayakkabı izleri, pençe kısmı ayakkabı izleri ve topuk kısmı ayakkabı izleri sırasıyla % 84.74, % 78.42 ve % 76.32 olmuştur. Buna göre, bütün ayakkabı izlerini, pençe kısmı ayakkabı izlerini ve topuk kısmı ayakkabı izlerini tanımlamak için önerilen yöntemdeki kümülatif eşleşme skoru Wright Yöntemi'nden daha iyi olduğunun bir kanıtı olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlara göre çok bloklu seyrek gösterim tabanlı sınıflandırmada Wright daha da başarılıdır. Ayrıca çok bloklu seyrek gösterim tabanlı sınıflandırmanın başarılı olmasının bütün görüntüye tek bir özellik çıkarmaktansa, kaç tane özellik çıkarılır ve dolayısıyla yerel bilgileri de kaybetmiyoruz. Sonuç olarak, önerilen yöntem, bütün ayakkabı izlerini, pençe kısmı ayakkabı izlerini ve topuk kısmı ayakkabı izlerini tanımlama işleminde Wright Yöntemi'nden daha da başarılıdır ve önerdiğimiz yöntemin başarılı olmasının bir kanıtı olarak da diyebiliriz. Ayrıca en azından ayakkabı izi görüntülerindeki gibi benzer örüntülerin tanımlanmasından ötürü bu yöntemin başarılı olmasına emin olunabilir.

Almaadeed Yöntemi ile ilgili olarak, bütün ayakkabı izlerini, pençe kısmı ayakkabı izlerini ve topuk kısmı ayakkabı izlerini tanımlamak için ilk dördüncü sıralamadaki kümülatif eşleşme skorları, sırasıyla, % 83.16, % 61.58, % 78.42 olmuştur. Öte yandan, Patil Yöntemi'nde, bütün ayakkabı izlerini, pençe kısmı ayakkabı izlerini ve topuk kısmı ayakkabı izlerini tanımlamak için ilk dördüncü sıralamadaki kümülatif eşleşme skorları, sırayla % 77.37, % 75.79, % 65.26 olmuştur. Tablo 3'de verilen sonuçlar Almaadeed Yöntemi'nin, bütün ayakkabı izlerini ve topuk kısmı ayakkabı izlerini tanımlamak açısından Patil Yöntemi'nden daha iyi bir performans göstermiş olduğunu göstermektedir. Öte yandan, pençe kısmı ayakkabı izleri ile ilgili olarak, Patil Yöntemi, Almaadeed Yöntemi'nden daha iyi bir performansa sahiptir. Ayrıca Philip de Chazal Yöntemi'nde, bütün ayakkabı izlerini, pençe kısmı ayakkabı izlerini ve topuk kısmı ayakkabı izlerini tanımlamak için ilk dördüncü sırada yer alan kümülatif eşleşme skorları sırasıyla % 95.26, % 88.42 ve % 89.47 olmaktadır. Dolayısıyla, Philip de Chazal Yöntemi'nin Almaadeed ve Patil yöntemlerinden daha iyi bir performans sergilediği söylenilebilir.

Tablo 4. Önerilen yöntem ve Wright, Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemlerinin bütün ve kısmi ayakkabı izlerini tanımlamasın elde ettiği kümülatif eşleştirme skorları

| Ayakkabı izi türü | Yöntem | Kümülatif Eşleştirme Skoru | | | |
|-------------------|------------------|----------------------------|------------|------------|--------------|
| | | İlk Birinci | İlk İkinci | İlk Üçüncü | İlk Dördüncü |
| Bütün | Proposed | 99.47 | 100 | 100 | 100 |
| | Wright | 84.74 | 89.47 | 91.53 | 92.63 |
| | Patil | 67.37 | 73.16 | 74.21 | 77.37 |
| | Almaadeed | 77.90 | 81.58 | 82.11 | 83.16 |
| | Philip de Chazal | 90 | 91.05 | 94.74 | 95.26 |
| Pençe Kısmı | Proposed | 80.53 | 86.32 | 90.00 | 90.00 |
| | Wright | 78.42 | 81.05 | 83.16 | 86.84 |
| | Patil | 61.58 | 68.42 | 73.16 | 75.79 |
| | Almaadeed | 60 | 60.53 | 61.05 | 61.58 |
| | Philip de Chazal | 78.95 | 81.58 | 85.79 | 88.42 |
| Topuk Kısmı | Proposed | 79.47 | 87.37 | 90.00 | 91.05 |
| | Wright | 76.32 | 84.21 | 87.90 | 88.95 |
| | Patil | 52.11 | 57.90 | 62.11 | 65.26 |
| | Almaadeed | 74.21 | 76.84 | 77.90 | 78.42 |
| | Philip de Chazal | 78.42 | 82.11 | 88.95 | 89.47 |

Patil Yöntemi'nin çalışma mekanizması ile ilgili olarak (Refrence patil), özelliklerin çıkartılmadan önce ayakkabı izi görüntülerinin dikey olarak döndürülmesi gerektiği unutulmamalıdır. Deneysel olarak elde ettiğimiz Patil Yöntemi'ndeki Radon Dönüşümü'nün sonuçlarına göre bazen Radon Dönüşümü ayakkabı izlerini düzgün bir şekilde döndüremiyor. Dolayısıyla bir sonraki değerlendirmelerde, eşit koşullardaki yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için önerilen yöntemin önışleme kısmı, Patil Yöntemi'nde önışleme kısmı yerine uygulanmıştır.

Şimdi Patil Yöntemi'nin önışleme kısmının yerine önerdiğimiz yöntemin önışleme kısmına uygularsak elde ettiğimiz sonuçlar şöyle olacaktır: Bütün ayakkabı izlerini, pençe kısmı ayakkabı izlerini ve topuk kısmı ayakkabı izlerini tanımlamak için ilk dördüncü sıralamadaki kümülatif eşleşme skorları, sırasıyla % 93.68, % 86.32 ve % 87.26 olacaktır.

Tablo 5. Radon dönüşümü ve önerilen yöntemin rotasyonu kullanılarak Patil Yöntemi'nde ayakkabı izi görüntülerinin tanınması

| Ayakkabı izi türü | Yöntem | Kümülatif Eşleştirme Skoru | | | |
|-------------------|--------------------|----------------------------|------------|------------|--------------|
| | | İlk Birinci | İlk İkinci | İlk Üçüncü | İlk dördüncü |
| Bütün | Önerilen ön işleme | 87.90 | 91.58 | 93.68 | 93.68 |
| | Radon Dönüşümü | 67.37 | 73.16 | 74.21 | 77.37 |
| Pençe Kısmı | Önerilen ön işleme | 73.68 | 79.47 | 84.21 | 86.32 |
| | Radon Dönüşümü | 61.58 | 68.42 | 73.16 | 75.79 |
| Topuk Kısmı | Önerilen ön işleme | 73.16 | 82.11 | 85.26 | 87.90 |
| | Radon Dönüşümü | 52.11 | 57.90 | 62.11 | 65.26 |

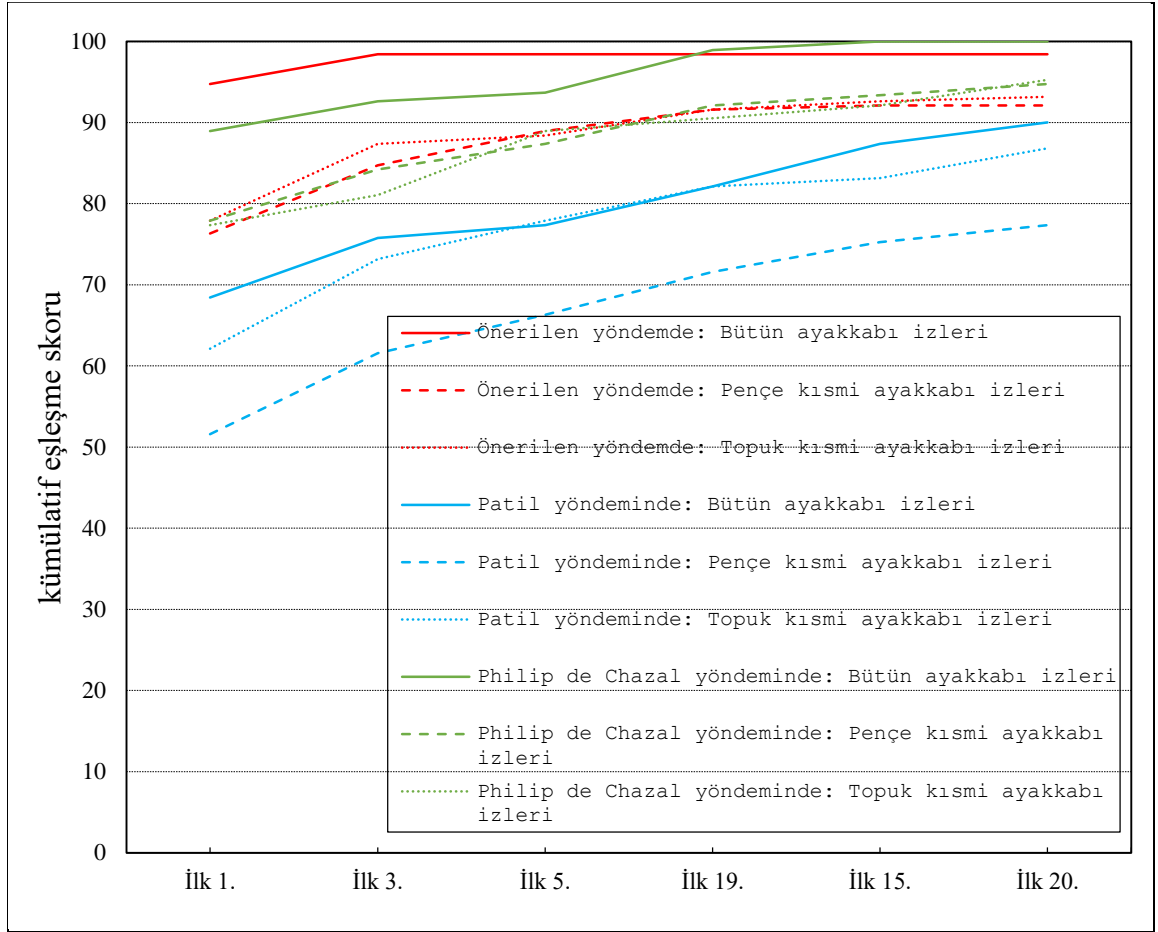
Tablo 6'da gösterildiği gibi, ayakkabı izlerinin doğru bir şekilde döndürülme Gabor Yöntemi'nin performansı üzerinde doğrudan etkisi olduğu gözlemlenebilir. Ayrıca bu tablo önerilen yöntemin döndürme işleminin Radon Dönüşümü'nden daha iyi olduğunun bir kanıtıdır. Dolayısıyla, önerilen yöntemin rotasyonunu kullanarak, ilk dördüncü sıradaki bütün ayakkabı izi görüntülerinin tanımlanmasında elde edilen kümülatif eşleşme skoru % 93'ten de fazladır. Sonuç olarak, Tablo 5 ve 6'dan elde ettiğimiz sonuçlara dayanarak, önerilen yöntemin bütün ve ayakkabı izlerini tanımlamada diğer dört yöntemden daha yüksek bir performansa sahip olduğu iddia edilebilir.

3.1.3. Çok Bloklü Seyrek Gösterim Yöntemi'nin ve Patil, Almaadeed ve Philip de Chazal Yöntemleri ile Rotasyona Karşı Performans Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde test görüntülerinin dönüşümü açısından, önerilen yöntem, Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemleri ile incelendi ve karşılaştırıldı. Bu deneyde, başlangıçta, rastgele olarak test görüntüleri, saatin ters yönünde 15, 30 ve 45 derece açılarında döndürülmüştür. Şekil 28 bu deneyin sonuçlarını göstermektedir. Bu şekilde gösterildiği gibi, önerilen yöntem kümülatif eşleşme skorunun az bir azalması ile rotasyon bozulmalarına dirençli olduğunu göstermektedir; Yani, ilk üç kümülatif eşleşmeden sonraki bütün ayakkabı izi görüntülerinin kümülatif eşleşme skorları % 98'den fazla olduğunu göstermektedir. Önerilen yöntem pençe ve topuk kısmı ayakkabı izlerini ilk 10. sıradan itibaren % 90'dan fazla doğru şekilde tanımlamaktadır.

Aslında bu şekilden anlaşıldığı gibi, Patil Yöntemi'ndeki puan bir şekilde kendini korudu; ilk beş eşleşmeden sonra kümülatif eşleşme skoru, pençe ve topuk kısmı ayakkabı izleri sırayla % 77 ve % 66'nın ötesine geçtiğini görüyoruz. Bununla birlikte, Philip de

Chazal Yöntemi'nin diğer yöntemlerden rotasyon bozulmalarına karşı daha dirençli olduğu söylenilebilir. Şekil 28'de gösterildiği gibi, on beşinci eşlemeden itibaren, bütün ayakkabı izi görüntüleri % 100 oranında doğru olarak tespit edildi. Ayrıca, ilk yirminci eşlemede pençe ve topuk kısmı ayakkabı izleri sırayla % 94 ve % 95 oranında doğru bir şekilde tespit edildi. Öte yandan, Almaadeed Yöntemi'ndeki döndürülmüş ayakkabılar için kümülatif eşleşme skorunun bütün ve kısmi görüntülerde elde ettiği %50'den daha düşük olması nedeniyle, bu bölümde ilgili sonuçlar verilmemiştir. Yukarıda belirtilen sonuçlara dayanarak, önerilen yöntemin rotasyon bozulmasına karşı performansını koruduğu ve rotasyona karşı dirençliliği iddia edilebilir.



Şekil 29. Önerilen Patil ve Philip de chazal yöntemlerinde döndürülmüş test görüntüleri için kümülatif eşleşme skoru

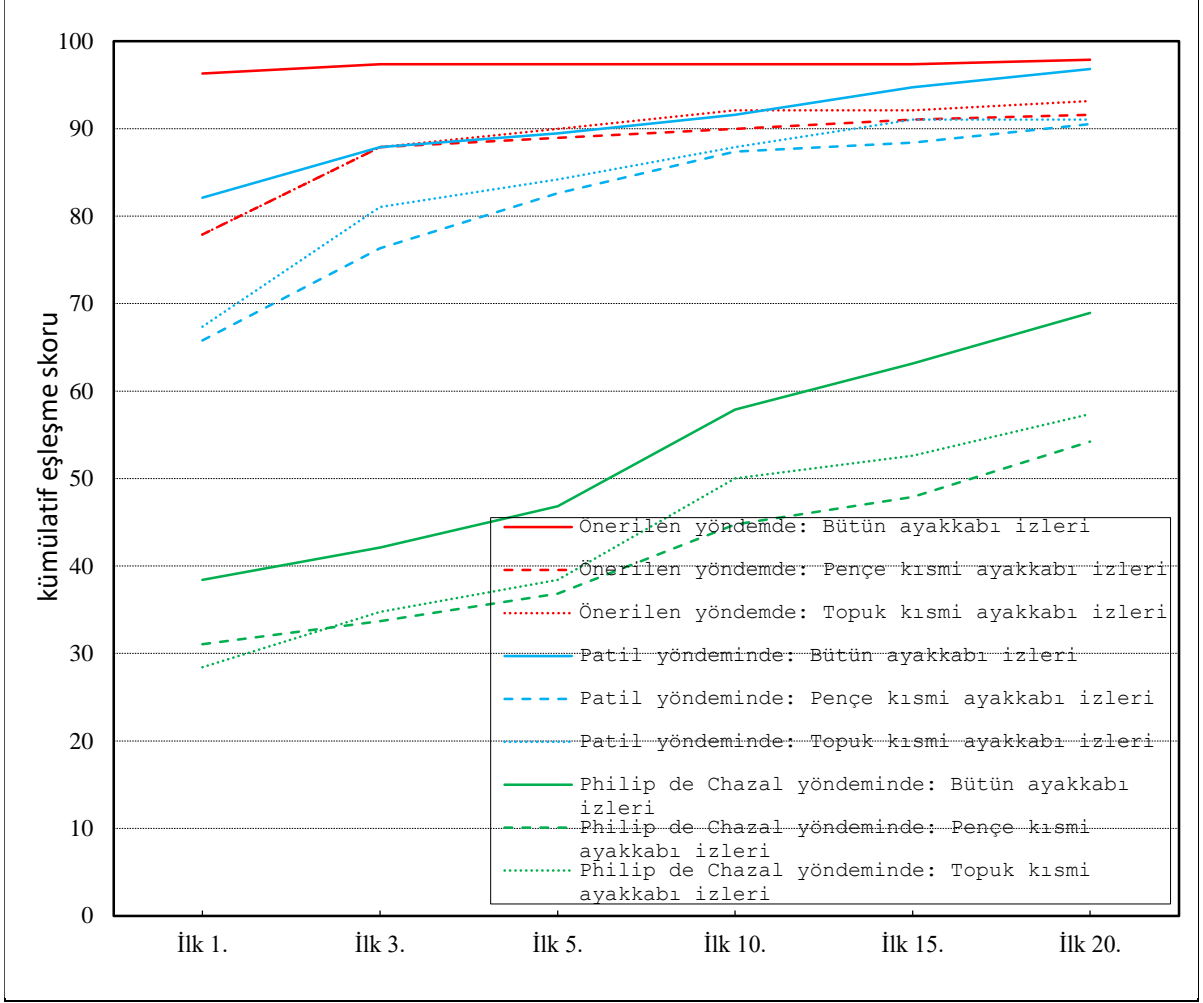
3.1.4. Çok Bloklü Seyrek Gösterim Yöntemi ve Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal Yöntemleri ile Ölçeklemeye Karşı Performansının Değerlendirilmesi

Bu bölümde önerilen yöntemde; Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemleri ile ölçekleme açısından karşılaştırıp ve ölçeklemeye karşı dayanıklı olduğunu araştırılmıştır. Bu deneyde, başlangıçta, test görüntüsünün boyutları, şu değerlerden birinden rasgele çarpıldı: (0.5, 0.75, 1.5 ve 2). Yani, görüntünün boyutları söz konusu ölçeklere göre değiştirildi. Şekil 29, önerilen yöntem Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemlerinin ölçek bozulması ile ilgili bu deneyin sonuçlarını göstermektedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, farklı sıralardaki kümülatif eşleme skorları, önerilen yöntemde, birazcık düşmüştür. Bu düşüşün nedeni; ayakkabı izi görüntüleri ölçeklendiği zaman, görüntüdeki gürültülerin de büyümesine sebep olacaktır. Dolayısıyla gürültülerin büyümesi ile ayakkabı izi görüntülerinde izlerin kenarlarını bulmak zor olacaktır. Yani görüntüler doğru bir şekilde kalıplara yerleştirilemediği için doğru özellikler çıkarılamamıştır. Aslında bu sorunları çözmek için ayakkabı izi görüntülerini girdi olarak sisteme vermeden önce el ile silinebilir. Bununla birlikte, önerilen yöntem ilk 1. sırada bütün ayakkabı izi görüntülerini % 96.32 oranda doğru bir şekilde elde edebilmiştir. Ayrıca, bu düşüş kısmı ayakkabı izlerinde de yaşanmıştır. Ama ileri sıralarda bu düşüş giderek çözülmüştür.

Ayrıca gürültülerin büyümesi Patil Yöntemi'nde de etkisini göstermiştir. Çünkü kümülatif eşleşme skoru Patil Yöntemi'nin ilk sıralarında düşmüş ama bu düşüş ileri aşamalarda düzelmiştir.

Öte yandan de Chazal Yöntemi ölçeklemeye karşı çok dayanıklı olmadığına dair sonuçları ispatlıyor. Yani bütün ayakkabı izi görüntülerini % 68 oranla, kısmi ayakkabı izi görüntülerini çoğu zaman % 50 oranla ilk 20. sırada doğru bir şekilde tanımlıyor.

Yine de, Almaadeed Yöntemi'ndeki ölçeklenmiş ayakkabılar için kümülatif eşleşme skorunun bütün ve kısmi görüntülerde elde ettiği % 50'den daha düşük olması nedeniyle, bu bölümde ilgili sonuçlar verilmemiştir. Yukarıda belirtilen sonuçlara ve şekil 29 dayanarak, önerilen yöntemin ölçekleme bozulmasına karşı performansını korumuştur.



Şekil 30. Önerilen yöntem, Patil ve Philip de Chazal yöntemlerinde ölçeklenmiş test görüntüleri için kümülatif eşleşme skoru

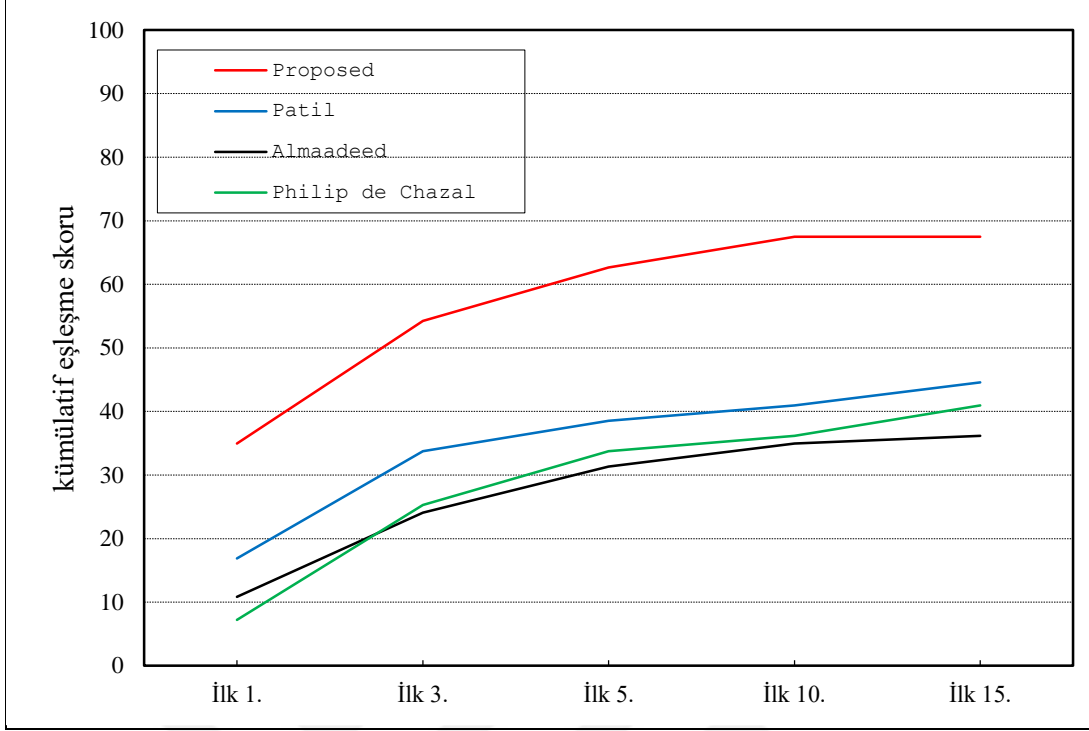
3.1.5. Çok Bloklı Seyrek Gösterim Yöntemin ve Diğer Üç Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal Yöntemleri ile Basel Üniversitesi'nin Veri Tabanı Üzerinde Performans Değerlendirilmesi

Bu bölümde önerilen yöntemi ve diğer üç Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemlerinin performanslarını Basel Üniversitesi'nin veri tabanı üzerinde değerlendirilmiştir (Referans). Basel Üniversitesi'nin veri tabanı gerçek ayakkabı izlerinden oluşmaktadır. Bu veri tabanının ayakkabı izleri gerçek ayakkabı izi olduğu için gürültülüdür ve böyle olması doğaldır. Bu veri tabanını kendi yöntemimiz üzerinde uygulamak için büyük gürültülerin temizlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu veri tabanının sorgu veri tabanından 83 adet ayakkabı izi görüntüsü öncelikle seçilmiştir ve el ile görüntüdeki ayakkabı izinden gürültülerin silinebileceği kadar gürültüler silinmiştir.

Sonra gürültüleri silinmiş olan ayakkabı izleri sorgu ayakkabı izi olarak önerdiğimiz sisteme ve diğer üç yöntemde değerlendirmek üzere verilmiştir.

Şekil 30, önerilen yöntem ve Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemleri için bu deneyin sonuçlarını vermektedir. Bu şekilde gösterildiği gibi, önerilen yöntemdeki ve diğer üç yöntemdeki kümülatif eşleme skorları önemli ölçüde azaltılmıştır. Gerçekten de, önerilen yöntemin ve diğer ilgili üç yöntemin, kümülatif eşleşme skoru Basel Üniversitesi'nin veri tabanından elde edildiği sonuçlara göre kendi veri tabanımız üzerinde çok güzel sonuçlar doğurmuşlardır. Çünkü kendi veri tabanımızın ayakkabı izleri kontrollü koşullarda elde edilmiştir. Dolayısıyla Basel Üniversitesi'nin ayakkabı izleri gerçek izler olduğu için çok gürültülü ve bozuklardır. Ama önerdiğimiz yöntemde yine de kümülatif eşleşme skoru ilk birinci sırada % 30.11 oranında doğru şekilde ayakkabı izlerini tanımlıyor. Bu kümülatif eşleşme skoru ileri sıralarda giderek iyileşiyor. Sonunda ayakkabı izleri ilk yirminci sırada % 67.47 oranında doğru şekilde tanımlanıyor.

Öte yandan nispeten, kümülatif eşleşme skoru ilk yirminci sırada Patil, Almaadeed ve Philip de Chazal yöntemleri ayakkabı izi görüntüleri sırayla % 44.58, % 36.15, % 40.96'ydı Böylece, bu deney için de elde edilen sonuca göre, önerilen yöntem gerçek ayakkabı izi görüntülerini tanımlama açısından Almaadeed, Patil ve Philip de Chazal yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini ispatlamaktadır.



Şekil 31. Basel Üniversitesi veri tabanında ayakkabı izlerinin alınması için önerilen ve diğer üç yöntemin performansı

3.2. Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin performansı değerlendirilmiştir. Bu yöntemi değerlendirmek için kaç tane farklı yöntem (Referanslar), uygulanmıştır ve sonuçları şekillerde ve tablolarda verilmiştir. Bu bölümdeki değerlendirmeler kendi veri tabanımızın üzerinde yani 190 tane sınıftan oluşan ve her sınıfta 5 adet ayakkabı izi görüntüsü olan veri tabanı üzerinde yapılmıştır. Burada referans veri tabanını oluşturmak için veri tabanının her sınıfından bir ayakkabı izi görüntüsü seçilerek, referans veri tabanına eklenmiştir. Ardından her sınıfta kalmış olan 4 adet ayakkabı izi görüntüsü, test veri tabanına eklenmiştir. Yani tüm değerlendirmelerde % 20 oranında ayakkabı izi görüntüleri eğitim verisi olarak kullanılmış ve % 80 oranında ayakkabı izi görüntüleri test verisi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada test görüntüsünün veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri ile benzerliklerinin bulunması için Chi-Kare yöntemi kullanılmıştır. Böylece blokların histogramlarından yararlanarak görüntülerin arasındaki benzerlikler bulunmuştur. Bu durumda tüm referans görüntülerdeki benzerlikleri sıralamak için Chi-Kare yönteminin

sonuçlarına göre veri tabanındaki ayakkabı izleri küçükten büyüğe sıralanıyor. Chi-Kare yönteminin çalıştığına göre, bu yöntemde görüntüler ne kadar birbirine çok benziyorsa o kadar bu yöntemin sonucu sifıra yakın olacaktır. Dolayısıyla sonuca göre artan bir şekilde referans veri tabanındaki ayakkabı izi görüntüleri sıralanıyor. Daha sonra önerilen yöntemin performansı farklı sıralarda değerlendirilir.

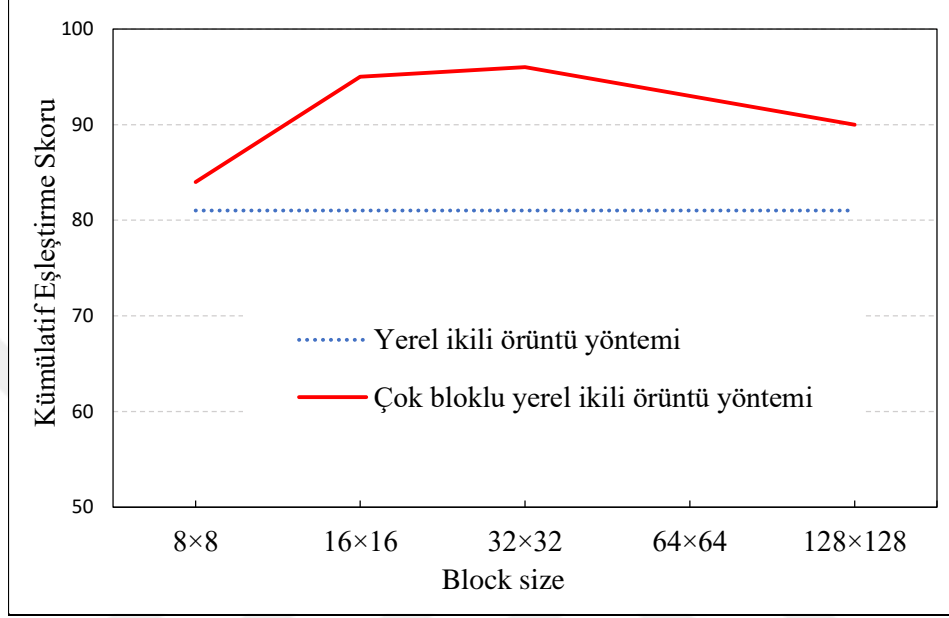
Bu bölümün devamında ayakkabı izini tanımlamada yerel ikili örüntü yöntemini çok bloklu yerel ikili yöntemi ile kıyaslanmış ve sonra önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

3.2.1. Ayakkabı İzi Tanımlamada Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Performans Değerlendirilmesi

3.2.1.1. Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne Karşı Performansının Değerlendirilmesi

İlk test, Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin performansını farklı boyutlarda Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi ile değerlendirilmiştir. Ayakkabı izi görüntülerinin tanımlanmasında Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne karşı iyi sonuç vermesinin kanıtlanması için iki yöntemde uygulanmış ve performanslarının sonuçları şekil 32'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi tüm 8×8 , 16×16 , 32×32 , 64×64 ve 128×128 piksel boyutlarında Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne göre iyi sonuçlar sergilemiştir. Bilindiği gibi Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin başarısı % 81 oranında olurken Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin tüm farklı boyutlarda daha yüksek başarı elde ettiği görülmektedir. Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin yüksel başarısı, ayakkabı izi görüntülerden yerel özellikleri çıkarmasından kaynaklanmaktadır ve bu özellikler ile görüntülerin yerel özelliklerinin kıyaslanmasında doğru bir şekilde mukayese edilmesi görülmektedir. Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi ile ayakkabı izi görüntüsünün tümüne bir histogram çıkarmaktansa görüntünün her bölgesine göre bir histogram elde edilmektedir. Dolayısıyla bu histogramlar ayakkabı izi görüntüsünün yerel bilgilerine ve desenlerine de duyarlı olduğunu gösteriyor. Yani Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi tek bir histogramın yerel bilgilere ve desenlere duyarsız oluşunun sorunu çözülmüş bulunuyor. Şekil 32'de görüldüğü gibi blokların her boyutta olmalarına rağmen Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü

Yöntemi ayakkabı izi görüntülerini tanımlamada Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne karşı iyi performans sergiliyor. Yani en düşük bloklama ayakkabı izi görüntüleri tanımlama probleminde önemli etki gösterdiğini bir kez daha ispatlanmış olur.



Şekil 32. Yerel ikili örüntü yöntemi ve çok bloklu yerel ikili örüntü yöntemi ile farklı boyutlarda gösterdikleri performans

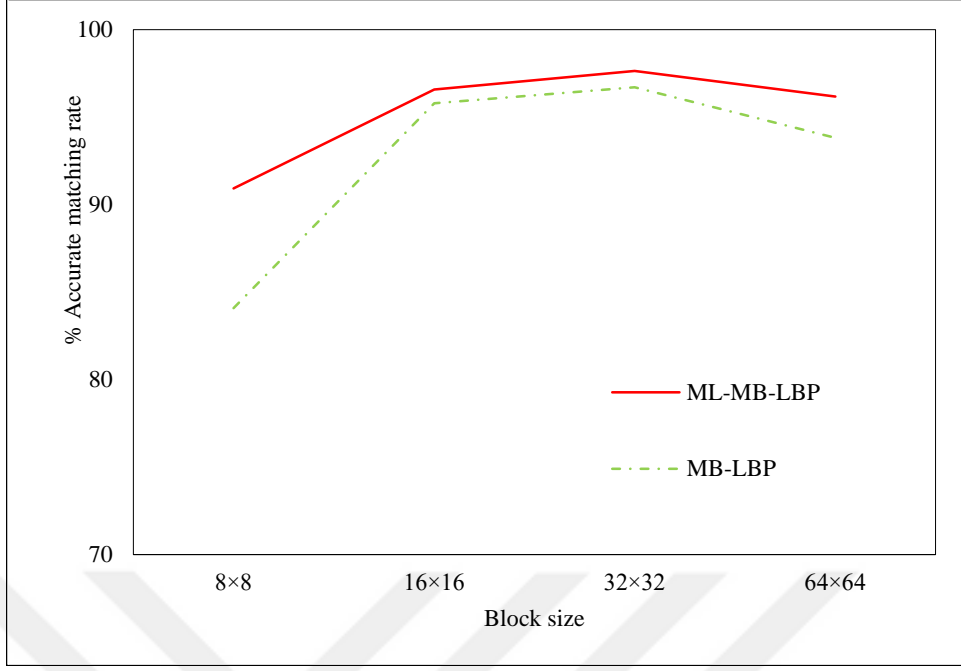
Bu bölümde ikinci dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi de Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi farklı boyutlarda farklı sonuçlar sergilemiştir. Bu testin ikinci amacı önerilen yöntemde neden 32x32 pikselli boyutların seçilmesini göstermektir. Çünkü Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde farklı boyutların seçilmesi ayakkabı izi görüntülerinin tanımlanmasında ve performansın sergilenmesinde gözlemlenebilir etki yaratabilir. Dolayısıyla Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ni 8x8, 16x16, 32x32, 64x64 ve 128x128 boyutlarında değerlendirmişiz. Şekilde görüldüğü gibi en iyi sonuç 32x32 pikselli boyutta % 96 oranında başarı elde edilmiştir. Dolayısıyla bu şekle göre önerilen yöntemde blokların boyutları 32x32 olarak seçilmiş oluyor.

3.2.1.2. Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne Karşı Performans Değerlendirilmesi

Bu bölümde Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin performansı Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne karşı değerlendirilmiştir. Dolayısıyla bu değerlendirmeyi yapmak için iki yöntemde dört tane farklı piksel boyutlarında uygulanmış ve sonuçları şekil 33'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi her boyutta Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'ne karşı iyi sonuçlar sergilemektedir. Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi ayakkabı izi görüntüsünü önce bloklara bölüyor ve sonra her bloğun Yerel İkili Örüntü'sünü hesaplıyor. Bilindiği gibi Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde blokların kenar kısımlarının desenleri sıfırlara dönüşür ve kayıp olur ve bu sorun da bu yöntemin doğasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bir görüntüde çok blok olduğu için bir desenlerin kayıp olması tanımlama işlemini başarısız da kılabilir. Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi, bu sorunu çözmek için önce bütün ayakkabı izi görüntüsüne Yerel İkili Örüntü'yü uyguluyor ve sonra görüntüyü bölmeye çalışıyor. Böylelikle desenlerin kayıp olması sorunu çözülmüş olur ve blokların kenarlarında siyah renkler de gözüküyor. Ayrıca elde edilen sonuçlar Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin ne kadar başarılı bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 33'te verilen sonuçlara göre Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin en iyi sonucu % 96 oranında olmuş ve bu sonuç da 32×32 boyutunda elde edilmiştir. Öte yandan bu testte değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin en iyi sonucu 32×32 boyutunda % 97.24 oranında olmuştur. Sonucun yaklaşık % 1 oranında yükselmesi, Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin performansının iyi olduğunu ispatlamıştır.

Görüldüğü gibi Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde 8×8 boyutunda % 83 oranında tanımlama elde edilirken Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi ile ayakkabı izi görüntülerini % 90 oranında tanımlanıyor. Özet olarak denilebilir ki; 16×16 boyutunda % 1 oranında ve 64×64 boyutlularda % 2 oranında Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nden daha başarılıdır.



Şekil 33. Değiştirilmiş çok bloklu yerel ikili örüntü yöntemi'nin çok bloklu yerel ikili örüntü yöntemi'ne karşı bir performans karşılaştırması

3.2.2. Önerilen Yöntemin, Almaadeed ve Patil Yöntemleri ile Karşılaştırma

Bu grup testlerde, ayakkabı izi görüntülerini tanımlama işleminde, Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin performansı, Almaadeed ve Patil yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu yöntemlerin performansları farklı koşullarda değerlendirilip ve sonuçları tablolar ve şekiller ile aktarılmaya çalışılmıştır. Bilindiği gibi her zaman olay yerinde bütün ayakkabı izinin bulunması mümkün olmadığına göre yöntemler kısmi ayakkabılarla da değerlendirilmiştir.

3.2.2.1. Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Almaadeed ve Patil Yöntemlerine Karşı Performans Değerlendirilmesi

Bu bölümde Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin performansı, Almaadeed ve Patil yöntemlerine karşı değerlendirilmiş ve sonuçları tablo ve şekiller ile verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde % 97.63 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 96.05 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 91 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri

doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Bununla birlikte Almaadeed Yöntemi'nde % 83.29 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 74,08 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 72,37 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde sıranın ilk başında tanımlanıyor. Ayrıca Patil Yöntemi'nde % 63,95 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 58,68 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 46,45 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde sıranın başında tanımlanıyor. Görüldüğü gibi farklı derecelerde de önerilen yöntemin performansı ve Almaadeed ve Patil yöntemlerinin performanslarından daha iyi olduğu anlaşılabilir. Beşinci derecede önerilen yöntemde bütün ayakkabı izi görüntülerini % 100 oranında, pençe kısmı ayakkabı izi görüntülerini % 98.95 oranında ve topuk kısmı ayakkabı izi görüntülerini % 97.5 oranında doğru şekilde tanımlıyor. Ayrıca Almaadeed Yöntemi'nde bütün ayakkabı izi görüntüleri % 89,21 oranında, pençe kısmı ayakkabı izi görüntülerini % 78.16 oranında ve topuk kısmı ayakkabı izi görüntülerini % 77.11 oranında doğru bir şekilde tanımlıyor. Yanı sıra Patil Yöntemi'nde bütün ayakkabı izi görüntüleri % 73.95 oranında, pençe kısmı ayakkabı izi görüntülerini % 73.16 oranında ve topuk kısmı ayakkabı izi görüntülerini % 61.58 oranında doğru bir şekilde tanımlıyor. Sonuç olarak Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi, ayakkabı izlerini tanımlamada Almaadeed ve Patil yöntemlerinden daha başarılıdır.

Tablo 6. Önerilen yöntemin performansını Almaadeed ve Patil yöntemlerinin performanslarına karşı değerlendirme

| Yöntem | Ayakkabı izi türü | kümülatif eşleşme skoru | | | | |
|-----------|-------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | İlk 1. | İlk 2. | İlk 3. | İlk 4. | İlk 5. |
| Önerilen | Bütün | 97.6316 | 99.2105 | 99.6053 | 99.8684 | 100 |
| | Kısmi Pençe | 96.0526 | 97.7632 | 98.5526 | 98.5526 | 98.9474 |
| | Kısmi Topuk | 91.1842 | 94.4737 | 95.7895 | 96.3158 | 97.5000 |
| Almaadeed | Bütün | 83.2895 | 86.5789 | 87.6316 | 88.1579 | 89.2105 |
| | Kısmi Pençe | 74.0789 | 76.0526 | 76.8421 | 77.6316 | 78.1579 |
| | Kısmi Topuk | 72.3684 | 74.0789 | 75.000 | 76.3158 | 77.1053 |
| Patil | Bütün | 63.9474 | 68.9474 | 70.6579 | 72.5000 | 73.9474 |
| | Kısmi Pençe | 58.6842 | 65.1316 | 69.2105 | 71.8421 | 73.1579 |
| | Kısmi Topuk | 46.4474 | 52.8947 | 55.7895 | 58.6842 | 61.5789 |

Sonuçlara baktığımızda Patil Yöntemi ayakkabı izi görüntülerini tanımlamada çok düşük başarı elde etmiştir. Ancak Patil Yöntemi'nde dikkat edilmesi gereken bir nokta

vardır. Bu yöntem özellik çıkarmadan önce Radon Dönüşüm Yöntemi'nden yararlanarak ayakkabı izi görüntülerini döndürmeye çalışıyor. Deneysel olarak anladığımızı göre Radon Dönüşüm Yöntemi ayakkabı izi görüntülerini döndürmede başarısız olmuştur. Dolayısıyla Patil Yöntemi'nin performansını olumsuz yönde etkilemiş ve daha düşük sonuçlara neden olmuştur. Bu yöntemin doğasına göre ayakkabı izi görüntülerinin doğru bir şekilde döndürülmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle Patil Yöntemi'nde ayakkabı izi görüntüleri bloklara bölünmeden önce ayakkabı izi dik bir şekilde döndürülmesi gerekmektedir ve işlemin devamında her bloğun ayrı ayrı özellikleri çıkarıldığı düşünülürse yanlış bir döndürme sonucu karşılaştırmalarda yanlış cevapları görmek mümkün olacaktır.

Algoritmaların performanslarını aynı koşullarda değerlendirmek için Patil Yöntemi'nde Radon Dönüşümü yerine önerilen yöntemin döndürme işlemi uygulanmış ve bundan sonra tüm değerlendirmelerde kendi döndürme işlemimizi aynen Patil Yöntemi'nde de uygulamışız. Bu sözlerin doğru olmasının ispatlanması için Patil Yöntemi'ni iki türlü döndürme yöntemleri ile değerlendirmişiz ve sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Patil Yöntemi'ni önerilen yöntemin döndürme metodu ile değerlendirilmesi

| Ayakkabı İzi Türü | Kümülatif Eşleştirme Skoru | | | | | |
|-------------------|----------------------------|------------|------------|--------------|-------------|------------|
| | İlk Birinci | İlk İkinci | İlk Üçüncü | İlk Dördüncü | İlk Beşinci | Sixth rank |
| Bütün | 81.5789 | 85.3947 | 86.9737 | 88.0263 | 89.2105 | 94.0789 |
| Pençe | 69.4737 | 75.9211 | 79.0789 | 81.4474 | 82.7632 | 91.3158 |
| Topuk | 67.6316 | 74.8684 | 77.7632 | 80.3947 | 82.5000 | 91.1842 |

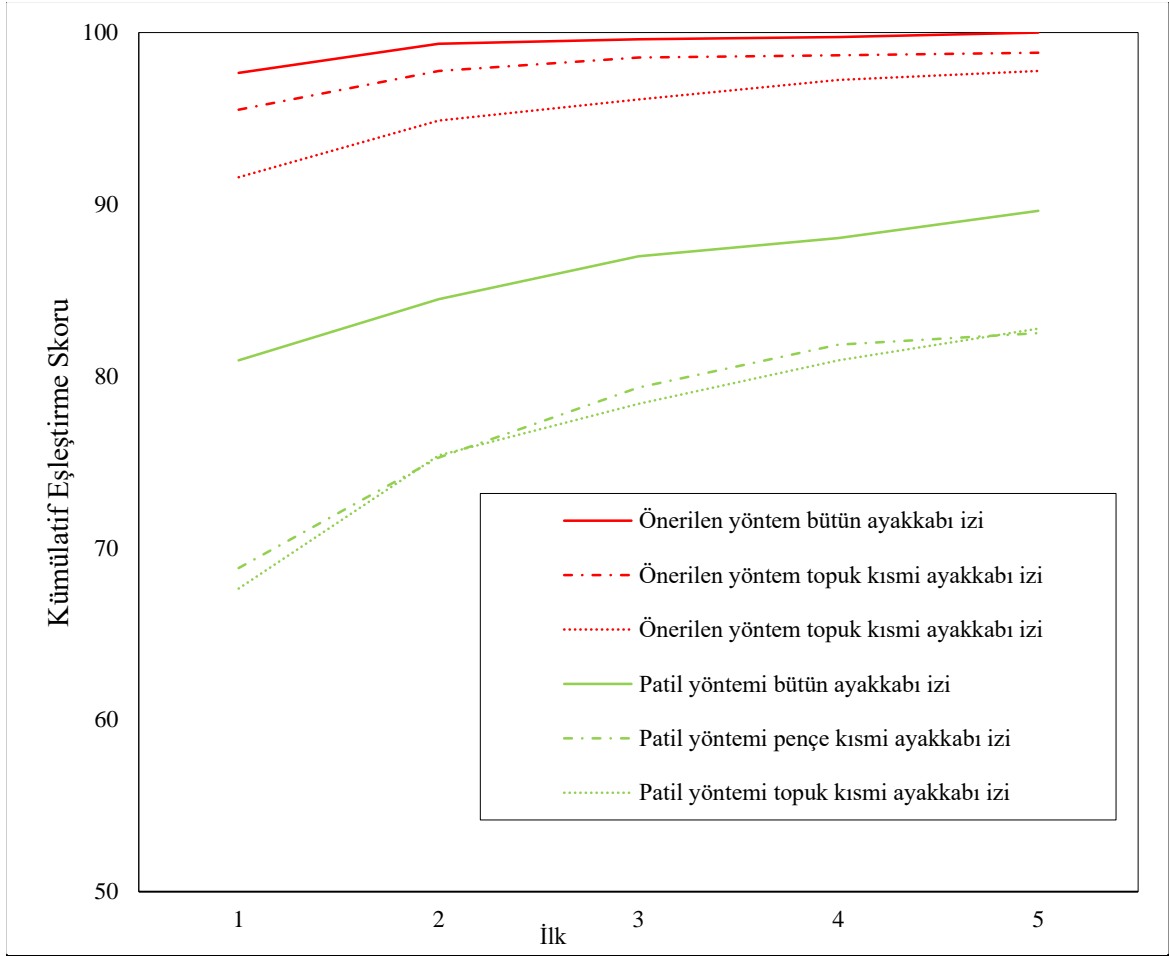
Tablo 6 ve 7'ye göre ayakkabı izlerinin doğru bir şekilde döndürülmesi direkt performansa etkili olacağını ispatlamaktadır. Tablolarda görüldüğü gibi Patil Yöntemi'nde eğer Radon Dönüşümü ile döndürme yapılıyorsa % 63,95 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 58,68 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 46,45 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde sıranın ilk birincisinde tanımlanacaktır. Ama Patil Yöntemi'nde eğer önerilen yöntemin döndürme işlemi ile ayakkabı izleri döndürme yapılıyorsa % 81,58 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 69,47 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 67,63 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde sıranın ilk birincisinde tanımlanacaktır. Özet

olarak Tablo 7'nin sonuçları Tablo 6'ya göre daha iyidir. Sonuç olarak Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi her koşulda Almaadeed ve Patil yöntemlerinden daha iyi olduğu ispatlanmıştır.

3.2.2.2. Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Patil Yöntemi ile Rotasyona Karşı Performans Değerlendirilmesi

Bu bölümün amacı Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin ve ayrıca Almaadeed ve Patil yöntemlerinin döndürülmüş ayakkabı izlerine karşı nasıl bir performans sergiledikleri görmektir. Yani önerilen yöntem ve diğer iki yöntemin döndürmeye bağımsız olup olmadığını anlamaktır. Bu testte sorgu yapılan ayakkabı izi görüntüleri önce rastgele olarak 15, 30 ve 45 derece saat iğneleri yönünde döndürülür. Şekil 34 ve tablo 8'de önerilen yöntemin, Almaadeed ve Patil yöntemlerinin bu testle ilgili sonuçlarını gösterilmektedir. Sonuçlarda görüldüğü gibi Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin rotasyon bozulmalarına karşı çok güçlü olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte önerilen yöntemde % 97 oranında döndürülmüş bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 95 oranında döndürülmüş pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 91 oranında döndürülmüş topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca önerilen yöntemde % 100 oranında döndürülmüş bütün ayakkabı izi görüntüleri ve % 98 oranından fazla; döndürülmüş pençe ve topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde beşinci sırada tanımlanıyor. Öte yandan Patil Yöntemi % 80,92 oranında döndürülmüş bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 68,82 oranında döndürülmüş pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 67,63 oranında döndürülmüş topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca Şekil 35 ve Tablo 7 ve 8'e göre adeta % 1 oranında döndürülmüş bütün ayakkabı izi görüntüleri ve döndürülmüş pençe ve topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri birinci sırada tanımlanmasında düşüklük gözlemlenmiştir. Yanı sıra adeta % 5 oranında döndürülmüş bütün ayakkabı izi görüntüleri ve % 9 oranında döndürülmüş pençe ve topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri beşinci sırada tanımlanmasında düşüklük gözlemlenmiştir. Ayrıca Almaadeed Yöntemi % 49,21 oranında döndürülmüş bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 58,42 oranında döndürülmüş pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 62,37 oranında döndürülmüş topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Buna ek olarak adeta % 32 - % 34 oranında döndürülmüş bütün ayakkabı izi

görüntüleri ve % 13 - % 16 oranında döndürülmüş pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 10 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri farklı sıralarda tanımlanmasında düşüklük gözlemlenmiştir. Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi ve Patil Yöntemi döndürmeye karşı dirençli olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Ayrıca Almaadeed Yöntemi'nin sonuçları % 50 düşük olduğu için tablolarda ve şekillerde verilmemiştir.



Şekil 34. Önerilen yöntem ve Patil Yöntemi'nin döndürmeye karşı performansı

Tablo 8. Önerilen yöntem ve Patil Yöntemi'nin döndürmeye kaşı sonuçları

| Yöntem | Kümülatif Eşleştirme Skoru | | | | | |
|----------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Ayakkabı İzi Türü | İlk 1. | İlk 2. | İlk 3. | İlk 4. | İlk 5. |
| Önerilen | Bütün | 97.64 | 99.34 | 99.61 | 99.74 | 100 |
| | Pençe | 95.5 | 97.76 | 98.55 | 98.68 | 98.82 |
| | Topuk | 91.58 | 94.87 | 96.1 | 97.24 | 97.76 |
| Patil | Bütün | 80.92 | 84.47 | 86.97 | 88.03 | 89.61 |
| | Pençe | 68.82 | 75.26 | 79.34 | 81.84 | 82.5 |
| | Topuk | 67.63 | 75.39 | 78.39 | 80.92 | 82.76 |

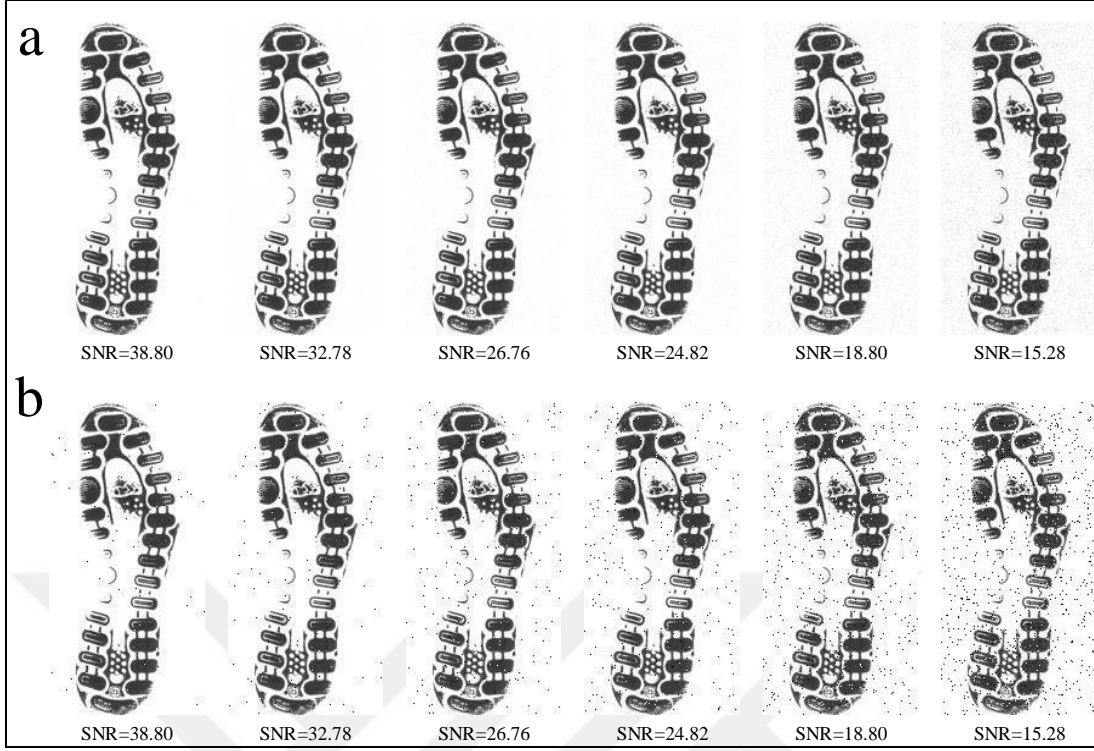
3.2.2.3. Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Patil ve Almaadeed Yöntemleri ile Tuz ve Biber Gürültüsü ve Gaussian Gürültüsüne Karşı Performansı Değerlendirilmesi

Bu bölümün amacı Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin ve ayrıca Almaadeed ve Patil yöntemlerinin Tuz ve Biber Gürültüsü ve Gaussian gürültülerine karşı nasıl bir performans sergiledikleri görmektir. Yani önerilen yöntem ve diğer iki yöntemin Tuz ve Biber Gürültüsü ve Gaussian gürültülerine karşı bağımsız olup olmadığını anlamaktır. Veri tabanı bölümünde belirtildiği gibi, ayakkabı izi görüntüleri kaydedilirken ve taranırken ayakkabı izi görüntülerine gürültüler eklenmiştir. Ama bu gürültüler o kadar fazla değildir ki yöntemlerin denilen görüntüler yüzünden güçlü olması anlaşılın. Bu nedenle önerilen yöntemin performansı gürültülü koşullarda değerlendirmek için önce sorgu yapılan ayakkabı izi görüntülerine Tuz ve Biber Gürültüsü ve Gaussian Gürültüsü eklenip sonra test edilmiştir. Tuz ve Biber Gürültü ve Gaussian gürültüleri farklı sinyal gürültü oranlarında (15.28, 18.80, 24.82, 26.76, 32.78 and 38.80) ayakkabı izi görüntülerine eklenmiştir. Sinyal gürültü oranı genellikle desibel (dB) birimleriyle gösterilir ve İngilizce kısaltmasıyla SNR olarak adlandırılır.

$$SNR(db) = 20 \log \left(\frac{P_s^2}{\sigma_n^2} \right) \quad (20)$$

Burada P_s ayakkabı izi görüntüsünün ortalama gücü ve σ_n^2 gürültünün varyansdır.

Şekil 35'de bir ayakkabı izi görüntüsüne farklı SNR'larda Tuz ve Biber Gürültüsü ve Gaussian Gürültüsü eklenip ve sonuçları gösterilmektedir.

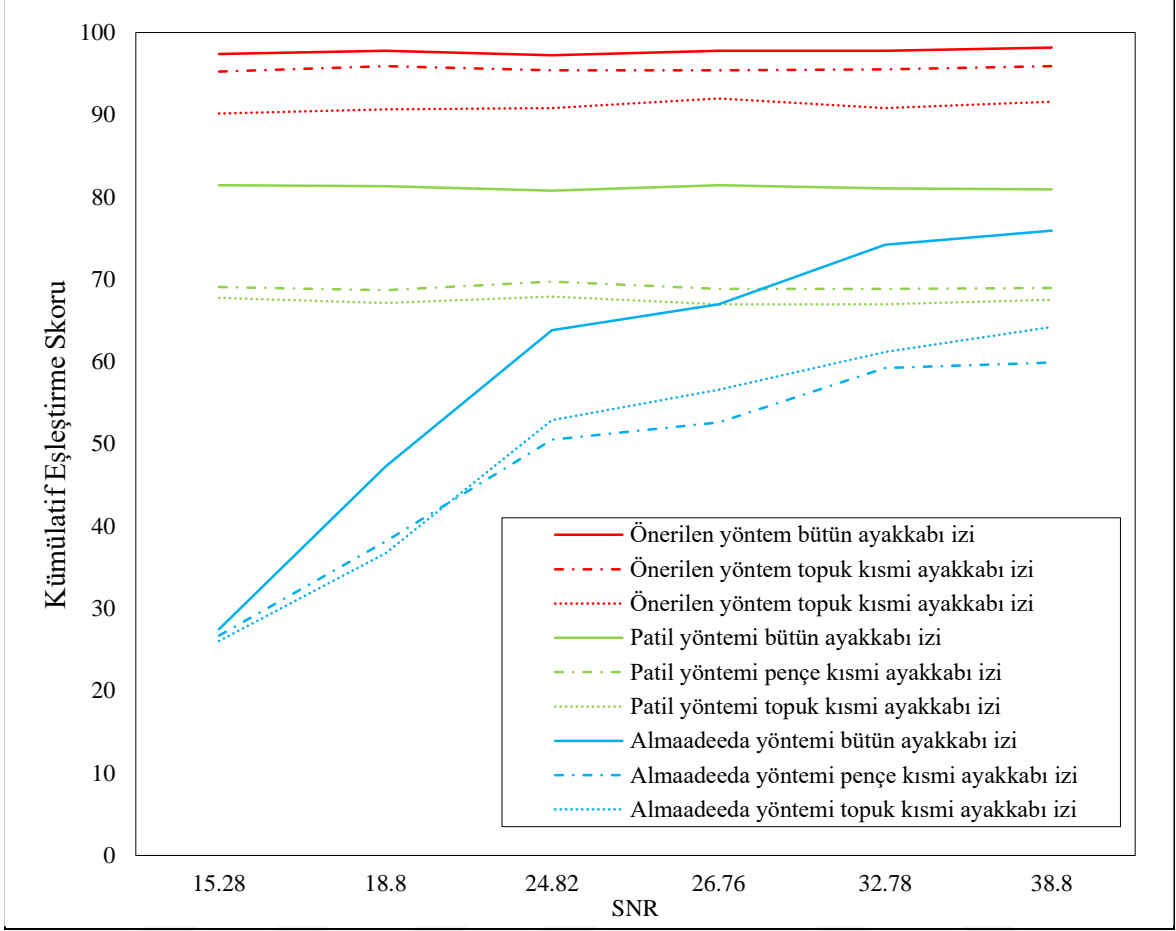


Şekil 35. Çeşitli gürültü ile lekelenmiş görüntüler: (A) Gauss beyaz gürültü ve (B) tuz ve biber gürültü

Şekil 36 ve 37, ayrıca Tablo 9 ve 10 Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin, Patil Yöntemi'nin ve Almaadeed Yöntemi'nin performanslarını gürültülü koşullarda göstermektedir. Şekiller ve tablolardan anlaşıldığı gibi önerilen yöntem gürültülü koşullarda daha güçlü olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte Tuz Biber Gürültüsü'nde SNR 15.28 olurken Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde yaklaşık % 97.37 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 95.26 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 90.13 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca Tuz ve Biber Gürültüsü'nde SNR 38.8 olurken Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde yaklaşık % 98.16 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 95.92 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 91.58 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Yani Şekil 36 ve Tablo 9'da farklı SNR'ların sonuçlarına baktığımızda çok değişme görülmemektedir. Bu nedenle Değiştirilmiş Çok Bloklü Yerel İkili Örüntü Yöntemi Tuz ve Biber Gürültüsü'ne karşı güçlü olduğu anlaşılmaktadır.

Öte yandan Tuz ve Biber gürültülerde SNR 15.28 olurken Patil Yöntemi'nde yaklaşık % 81.45 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 69.08 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 67.67 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca Tuz ve Biber Gürültüsü'nde SNR 38.8 olurken Patil Yöntemi'nde yaklaşık % 80.92 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 68.95 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 67.5 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Özet olarak Şekil 36 ve Tablo 9'da farklı SNR'ların sonuçlarına baktığımızda Patil Yöntemi Tuz ve Biber Gürültüsü'ne karşı güçlü olması anlaşılmaktadır.

Tuz ve Biber gürültülerinde SNR 15.28 olurken Almaadeed Yöntemi'nde yaklaşık % 27.50 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 26.71 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 26.05 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca Tuz ve Biber gürültülerinde SNR 38.8 olurken Almaadeed Yöntemi'nde yaklaşık % 75.92 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 59.87 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 64.21 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Yani Şekil 36 ve Tablo 9'da farklı SNR'ların sonuçlarına baktığımızda Almaadeed Yöntemi Tuz ve Biber Gürültüsü'ne karşı duyarlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu yöntemde SNR azalırken o oranda da doğru tanımlama düşmektedir. Yani SNR 15.28 ve 38.8 arasında Almaadeed sonuçlarda yaklaşık 45 oranında değişmek görülmektedir.



Şekil 36. Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin tuz ve biber gürültülerine ilişkin grafik

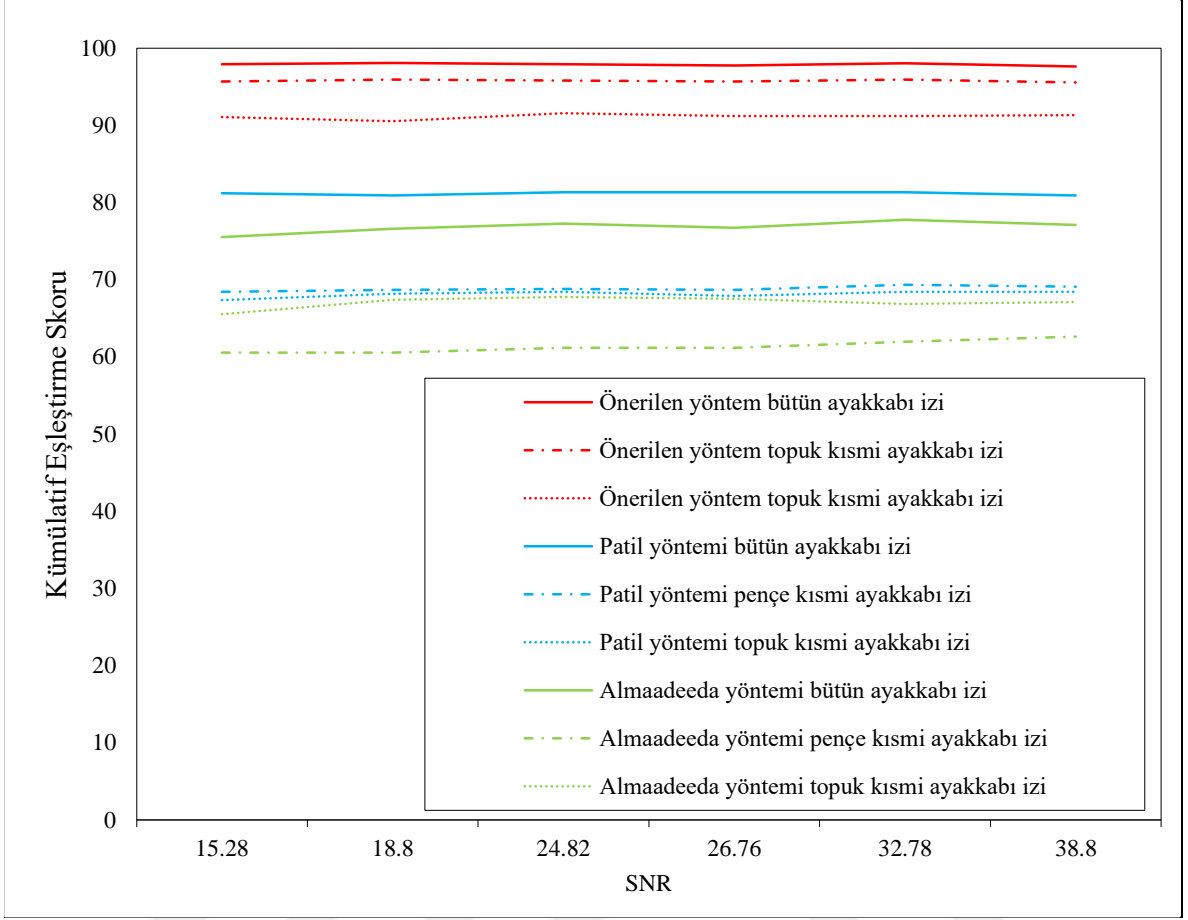
Tablo 9. Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin tuz ve biber gürültülerine ilişkin sonuçları

| Yöntem | Ayakkabı İzi Türü | Kümülatif Eşleştirme Skoru | | | | | |
|------------|-------------------|----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | SNR=15.28 | SNR=18.8 | SNR=24.82 | SNR=26.76 | SNR=32.78 | SNR=38.8 |
| Önerilen | Bütün | 97.37 | 97.76 | 97.24 | 97.76 | 97.76 | 98.16 |
| | Pençe | 95.26 | 95.92 | 95.39 | 95.39 | 95.52 | 95.92 |
| | Topuk | 90.13 | 90.66 | 90.79 | 91.97 | 90.79 | 91.58 |
| Patil | Bütün | 81.45 | 81.32 | 80.79 | 81.45 | 81.05 | 80.92 |
| | Pençe | 69.08 | 68.68 | 69.74 | 68.82 | 68.82 | 68.95 |
| | Topuk | 67.76 | 67.11 | 67.89 | 66.97 | 66.97 | 67.5 |
| Almaadeeda | Bütün | 27.50 | 47.24 | 63.82 | 66.98 | 74.21 | 75.92 |
| | Pençe | 26.71 | 38.16 | 50.53 | 52.63 | 59.21 | 59.87 |
| | Topuk | 26.05 | 36.71 | 52.9 | 56.58 | 61.18 | 64.21 |

Gaussian Gürültüsü'ne karşı baktığımızda SNR 15.28 olurken Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde yaklaşık % 97.89 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 95.65 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 91.05 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca bu ayakkabı izi gürültülerinde SNR 38.8 olurken Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nde yaklaşık % 97.63 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 95.53 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 91.32 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Yani Şekil 37 ve Tablo 10'da farklı SNR'ların sonuçlarına baktığımızda çok değişmiş görülmemektedir. Bu neden Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin Gaussian Gürültüsü'ne karşı güçlü olduğu anlaşılmaktadır.

Öte yandan Gaussian Gürültüsü'nde SNR 15.28 olurken Patil Yöntemi'nde yaklaşık % 81.18 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 68.42 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 67.36 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca Gaussian Gürültüsü'nde SNR 38.8 olurken Patil Yöntemi'nde yaklaşık % 80.92 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 69.08 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 68.42 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Özet olarak Şekil 37 ve Tablo 10'da farklı SNR'ların sonuçlarına baktığımızda Patil Yöntemi'nin Gaussian Gürültüsü'ne karşı güçlü olduğu anlaşılmaktadır.

Gaussian gürültülerinde SNR 15.28 olurken Almaadeed Yöntemi'nde yaklaşık % 75.53 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 60.53 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 65.53 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Ayrıca bu gürültüde SNR 38.8 olurken Almaadeed Yöntemi'nde yaklaşık % 77.11 oranında bütün ayakkabı izi görüntüleri, % 62.63 oranında pençe kısmı ayakkabı izi görüntüleri ve % 67.11 oranında topuk kısmı ayakkabı izi görüntüleri doğru bir şekilde birinci sırada tanımlanıyor. Yani Şekil 37 ve Tablo 10'de farklı SNR'ların sonuçlarına baktığımızda Almaadeed Yöntemi'nin Gaussian Gürültüsü'ne karşı güçlü olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 37. Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin gaussian gürültüleri ile ilişkin grafik

Tablo 10. Önerilen yöntem, Patil ve Almaadeed yöntemlerinin tuz ve biber gürültüleri ile ilişkin sonuçlar

| Yöntem | Ayakkabı İzi Türü | Kümülatif Eşleştirme Skoru | | | | | |
|------------|-------------------|----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | SNR=15.28 | SNR=18.8 | SNR=24.82 | SNR=26.76 | SNR=32.78 | SNR=38.8 |
| Önerilen | Bütün | 97.89 | 98.06 | 97.89 | 97.76 | 98.03 | 97.63 |
| | Pençe | 95.65 | 95.92 | 95.8 | 95.66 | 95.92 | 95.53 |
| | Topuk | 91.05 | 90.53 | 91.58 | 91.18 | 91.18 | 91.32 |
| Patil | Bütün | 81.18 | 80.92 | 81.32 | 81.32 | 81.32 | 80.92 |
| | Pençe | 68.42 | 68.68 | 68.82 | 68.68 | 69.32 | 69.08 |
| | Topuk | 67.36 | 68.16 | 68.42 | 67.89 | 68.42 | 68.42 |
| Almaadeeda | Bütün | 75.53 | 76.58 | 77.24 | 76.71 | 77.76 | 77.11 |
| | Pençe | 60.53 | 60.53 | 61.18 | 61.18 | 61.97 | 62.63 |
| | Topuk | 65.53 | 67.37 | 67.76 | 67.50 | 66.84 | 67.11 |

Özet olarak Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi, Tuz ve Biber ve Gaussian gürültülerine karşı güçlü olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Patil Yöntemi de bu iki tür gürültüye karşı güçlü olduğu sonuçlardan anlaşılmıştır. Ama Almaadeeda yöntemi Gaussian gürültüsüne karşı güçlü olduğu ve tuz biber gürültüsüne karşı zayıf olduğu sonuçlardan anlaşılmıştır. Böylece önerilen değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi Patil ve Almaadeeda Yöntemi'nden daha başarılı olduğu bu testte de anlaşılmıştır.



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Ayakkabı izleri olay yerinde en sık görülen izlerdendir ve dolayısıyla olay yerinde görünen ayakkabı izleri iyi şekilde değerlendirilirse suçluların yakalanmasında polisler büyük ölçüde kolaylık sağlanacaktır. Bu amaçla bu doktora tezi çalışmasında ayakkabı izlerinin tanımlanması amacıyla Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü ve Çok Bloklu Seyrek Gösterim Sınıflandırma algoritmaları geliştirilmiştir. Bu algoritmalarda amaç bütün ayakkabı izinden özelliklerin alınması yerine yerel bölgelerden özellikler çıkarılmaktadır. Böylelikle elde edilen özellikler yerel bilgileri de içeriyor.

Bu çalışmada tezi sürdürmek için yeni bir veri tabanı üretilmiştir ve referans olarak da internet üzerinde diğer çalışmalar için de paylaşılmıştır. Tez çalışmasının sonucunda Değiştirilmiş Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü Yöntemi bütün ayakkabı izi görüntülerini ve ayrıca pençe ve topuk kısmi ayakkabı izi görüntülerini tanımlamada çok başarılı olunmuştur. Ayrıca bu önerilen yöntem standart Yerel İkili Örüntü, Çok Bloklu Yerel İkili Örüntü, Patil ve Almaadeed yöntemleri ile karşılaştırıp ve yanı sıra test görüntülerinde rotasyon, Tuz ve Biber Gürültüsü ve Gaussian Gürültüsü eklenip ve bu bozulmalara karşı performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çalışmanın devamında, Çok Bloklu Seyrek Gösterim Sınıflandırma Yöntemi, Wright, Patil, Almaadeed ve De Chazal yöntemleri ile karşılaştırılarak iyi sonuçlar alınmıştır. Bu yöntemi farklı koşullarda değerlendirmek için test görüntülerinde rotasyon ve ölçekleme yapılmış ve performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca önerilen yöntem ve diğer üç yöntemin performansı Basel Üniversitesi'nin veri tabanı üzerinde değerlendirilmiştir.

Literatürdeki diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemlerin performans sonuçlarının çok iyi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca literatürdeki çoğu çalışmalara göre önerilen yöntemler daha çok yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca literatürdeki çoğu çalışmalara göre önerilen yöntemler her türlü ayakkabı izleri üzerinde değerlendirilmiştir. Böylelikle önerilen yöntemler rotasyona, gürültüye ve ölçeklemeden bağımsızdır.

5. ÖNERİLER

Çalışmada, Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi'nin blok boyutları sabit olmayabilir. Dolayısıyla büyük ve küçük örüntüler daha doğru bir şekilde tanımlanabilir ve sonuç olarak da sistemin performansı iyileşebilir.

Değiştirilmiş Çok Bloklı Yerel İkili Örüntü Yöntemi dönmeden bağımsız yapılabilirse olay yerinde bulunan gerçek ayakkabı izlerinin tanımlanmasındaki performans daha iyi olacak ve her türlü örüntülerin tanımlanmasında kullanılabilir.

Bu çalışmayı daha iyi yürütülebilmek için büyük bir olay yerinde bulunan gerçek ayakkabı izlerinden oluşan veri tabanının olması gerekmektedir. Dolayısıyla öncelikle polis yardımıyla bir veri tabanının oluşturulması şarttır.

Bu çalışmada kıyaslanmış olan Almaadeed Yöntemi'nin çalışma zamanı çok olduğu için sonraki çalışmalarda hızı artırabilmek adına başka bir yöntemin seçilmesi gerekmektedir.

Bu meselenin üzerinde derin öğrenme yöntemlerinin uygulanması çok iyi olabilir. Sadece o yöntemlerin kullanılabilmesi için büyük bir veri tabanının olması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Locard, E., 'The analysis of dust traces. Part I, II and III', The American journal of police science, 1, 3 (1930) 276-298.
2. Wei, C.H., Li, Y. ve Gwo, C.Y., 'The Use of Scale-Invariance Feature Transform Approach to Recognize and Retrieve Incomplete Shoeprints', Journal of forensic sciences, 58, 3 (2013) 625-630.
3. Benecke, M., 'DNA typing in forensic medicine and in criminal investigations: a current survey', Naturwissenschaften, 84, 5 (1997) 181-188.
4. Kaur, R. ve Mazumdar, S.G., 'Fingerprint Based Gender Identification using frequency domain analysis', International Journal of Advances in Engineering & Technology, 3, 1 (2012) 295-299.
5. Sudesh Gungadin, M., 'Sex determination from fingerprint ridge density', Internet Journal of Medical Update, 2, 2 (2007) 4-7.
6. Rastogi, P., Pillai, K.R. ve Keerthi, R., 'A study of fingerprints in relation to gender and blood group', J Indian Acad Forensic Med, 32, 1 (2010) 11-14.
7. Cole, S.A., 'Suspect identities: A history of fingerprinting and criminal identification', Harvard University Press, 1 (2009).
8. Kuncan, B., 'Üç Boyutlu Ayakkabi İzlerinin Olay Yerinden Elde Edilmesinde Ve İncelenmesinde Kullanılan Teknik ve Yöntemler', Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Adli Tıp Anabilim Dalı, Adana, 2006.
9. Bodziak, W.J., 'Footwear impression evidence: detection, recovery and examination', CRC Press 1999.
10. Girod, A., 'Presentation at the European Meeting for Shoeprint/Toolmark Examiners', The Netherlands 1997.
11. Alexandre, G., 'Computerized classification of the shoeprints of burglars' soles', Forensic Science International, 82, 1 (1996) 59-65.
12. Rankin, B., 'Footwear marks—a step by step review', Forensic science society Newsletter, 3 (1998).
13. Mikkonen, S., Suominen, V. ve Heinonen, P., 'Use of footwear impressions in crime scene investigations assisted by computerised footwear collection system', Forensic science international, 82, 1 (1996) 67-79.

14. Whittle, M.W., 'Clinical gait analysis: A review', Human Movement Science, 15, 3 (1996) 369-387.
15. Davis, R.B., Ounpuu, S., Tyburski, D. ve Gage, J.R., 'A gait analysis data collection and reduction technique', Human movement science, 10, 5 (1991) 575-587.
16. Lee, L. Grimson ve W.E.L., 'Gait analysis for recognition and classification', Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2002 Washington, DC, USA 148-155.
17. Whittle, ve Michael, W., 'Gait analysis: an introduction', Butterworth-Heinemann, 2014.
18. Perry, J., Burnfield, ve Judith, M., 'Gait analysis: normal and pathological function', Journal of Pediatric Orthopaedics, 12, 6 (1992) 815.
19. Mikkonen, S. ve Astikainen, T., 'Databased classification system for shoe sole patterns—Identification of partial footwear impression found at a scene of crime', Journal of Forensic Science, 39, 5 (1994) 1227-1236.
20. Davis, R.J., 'An intelligence approach to footwear marks and toolmarks', Journal of the Forensic Science Society, 21, 3 (1981) 183-193.
21. Sawyer, N., ve Monckton, C., "'Shoe-fit"—a computerised shoe print database', European Convention on Security and Detection, May 1995 Brighton, UK 86-89.
22. Phillips, M., 'A shoeprint image coding and retrieval system', European Convention on Security and Detection, May 1995 Brighton, UK 267-271.
23. Ashley, W., 'What shoe was that? The use of computerised image database to assist in identification', Forensic Science International, 82, 1 (1996) 7-20.
24. Birkett, J., 'Scientific scene linking', Journal of the Forensic Science Society, 29, 4 (1989) 271-284.
25. Min, X. ve Qi, G., 'Automatic shoeprint classification based on DFT', 12th International Conference on Signal Processing (ICSP), 2014 Hangzhou, China 821-826.
26. Wang, X., Sun, H., Yu, Q. ve Zhang, C., 'Automatic Shoeprint Retrieval Algorithm for Real Crime Scenes', Computer Vision -- ACCV 2014. ACCV 2014. Lecture Notes in Computer Science, 9003 (2014) 399-413.
27. Xiao, R. ve Shi, P., 'Computerized matching of shoeprints based on sole pattern', International Workshop on Computational Forensics, 5158 (2008) 96-104.
28. Hancock, S., Morgan-Smith, R. ve Buckleton, J., 'The interpretation of shoeprint comparison class correspondences', Science & Justice, 52, 4 (2012) 243-248.

29. Li, X., Wu, M. ve Shi, Z., 'The Retrieval of Shoeprint Images Based on the Integral Histogram of the Gabor Transform Domain', Intelligent Information Processing VII Springer, 432 (2014) 249-258.
30. Geradts, Z. ve Keijzer, J., 'The image-database REBEZO for shoeprints with developments on automatic classification of shoe outsole designs', Forensic Science International, 82, 1 (1996) 21-31.
31. Alexander, A., Bouridane, A. ve Crookes, D., 'Automatic classification and recognition of shoeprints', 7th International Conference on Image Processing and its Applications, July 1999 Manchester, UK 638-641.
32. Bouridane, A., Alexander, A., Nibouche, M. ve Crookes, D., 'Application of fractals to the detection and classification of shoeprints', International Conference on Image Processing, 2000 Vancouver, BC, Canada 474-477.
33. De Chazal, P., Flynn, J. ve Reilly, R.B., 'Automated processing of shoeprint images based on the Fourier transform for use in forensic science', IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27, 3 (2005) 341-350.
34. Pavlou, M. ve Allinson, N.M., 'Automatic extraction and classification of footwear patterns', International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning, September (2006) 20-23.
35. Gueham, M., Bouridane, A., Crookes, D. ve Nibouche, O., 'Automatic recognition of shoeprints using Fourier-Mellin transform', Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS '08. NASA/ESA), 2008 Noordwijk, The Netherlands 487-491.
36. AlGarni, G. ve Hamiane, M., 'A novel technique for automatic shoeprint image retrieval', Forensic science international, 181, 1 (2008) 10-14.
37. Patil, P.M. ve Kulkarni, J.V., 'Rotation and intensity invariant shoeprint matching using Gabor transform with application to forensic science', Pattern Recognition, 42, 7 (2009) 1308-1317.
38. Dardi, F., Cervelli, F. ve Carrato, S., 'A texture based shoe retrieval system for shoe marks of real crime scenes', Image Analysis and Processing-ICIAP Springer, 5716 (2009) 384-393.
39. Jing, M.-Q., Ho, W.-J. ve Chen, L.-H., 'A novel method for shoeprints recognition and classification', International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2009 Hebei, China 2846-2851.
40. Su, H., Crookes, D., Bouridane, A. ve Gueham, M., 'Local image features for shoeprint image retrieval', British Machine Vision Conference. Vol. 2007.

41. Nibouche, O., Bouridane, A., Crookes, D. ve Gueham, M., 'Rotation invariant matching of partial shoeprints', 13th International Machine Vision and Image Processing Conference (IMVIP), 2009 Dublin, Ireland 94-98.
42. Zhang, L. ve Allinson, N., 'Automatic shoeprint retrieval system for use in forensic investigations', UK Workshop on Computational Intelligence, 99, (2005) 137-142.
43. Tang, Y., Kasiviswanathan, H. ve Srihari, S.N., 'An efficient clustering-based retrieval framework for real crime scene footwear marks', International Journal of Granular Computing, Rough Sets and Intelligent Systems, 2, 4 (2012) 327-360.
44. Hasegawa, M. ve Tabbone, S., 'A local adaptation of the histogram radon transform descriptor: an application to a shoe print dataset', Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition Springer, 7626 (2012) 675-683.
45. Kong, X., Yang, C. ve Zheng, F., 'A Novel Method for Shoeprint Recognition in Crime Scenes', Biometric Recognition Springer, 8833 (2014) 498-505.
46. Wei, C.-H. ve Gwo, C.-Y., 'Alignment of core point for shoeprint analysis and retrieval', Information Science, International Conference on Electronics and Electrical Engineering (ISEEE), 2014 Sapporo, Japan 1069-1072.
47. Kortylewski, A., Albrecht, T. ve Vetter, T., 'Unsupervised Footwear Impression Analysis and Retrieval from Crime Scene Data', Computer Vision - ACCV 2014 Workshops Springer, 9008 (2014) 644-658.
48. He, D.-C. ve Wang, L., 'Texture unit, texture spectrum, and texture analysis', IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28, 4 (1990) 509-512.
49. Wang, L. ve He, D.-C., 'Texture classification using texture spectrum', Pattern Recognition, 23, 8 (1990) 905-910.
50. Ojala, T., Pietikainen, M. ve Harwood, D., 'Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions', International Conference on Pattern Recognition A: Computer Vision & Image Processing; Proceedings of the 12th IAPR, August (2002) 582-585.
51. Ojala, T., Pietikäinen, M. ve Harwood, D., 'A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions', Pattern recognition, 29, 1 (1996) 51-59.
52. Wang, X., Han, T.X. ve Yan, S., 'An HOG-LBP human detector with partial occlusion handling', 12th International Conference on Computer Vision, 2009 IEEE, Kyoto, Japan 32-39.
53. Huang, D., Shan, C., Ardabilian, M., Wang, Y. ve Chen, L., 'Local binary patterns and its application to facial image analysis: a survey', IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 41, 6 (2011) 765-781.

54. Jin, H., Liu, Q., Tang, X. ve Lu, H., 'Learning local descriptors for face detection', IEEE International Conference on Multimedia and Expo, July 2005 Amsterdam, Netherlands 928-931.
55. Bai, G., Zhu, Y. ve Ding, Z., 'A hierarchical face recognition method based on local binary pattern', Congress on Image and Signal Processing, May 2008 Sanya, Hainan, China 15-24.
56. Yang, H. ve Wang, Y., 'A LBP-based face recognition method with Hamming distance constraint', Fourth International Conference on Image and Graphics, Aug 2007, Sichuan, China 645-649.
57. Huang, D., Wang, Y. ve Wang, Y., 'A robust method for near infrared face recognition based on extended local binary pattern', Advances in Visual Computing Springer, 4842 (2007) 437-446.
58. Huang, Y., Wang, Y. ve Tan, T., 'Combining Statistics of Geometrical and Correlative Features for 3D Face Recognition', In BMVC, (2006) 879-888.
59. Tan, X. ve Triggs, B., 'Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions', IEEE transactions on image processing, 19, 6 (2010) 1635-1650.
60. Ahonen, T. ve Pietikäinen, M., 'Soft histograms for local binary patterns', Proceedings of the Finnish signal processing symposium, 5, 9 (2007) 1.
61. Liao, S. ve Chung, A.C., 'Face recognition by using elongated local binary patterns with average maximum distance gradient magnitude', Computer Vision – ACCV 2007S Springer, 4844 (2007) 672-679.
62. Liao, S., Zhu, X., Lei, Z., Zhang, L. ve Li, S.Z., 'Learning multi-scale block local binary patterns for face recognition', Advances in Biometrics Springer, (2007) 828-837.
63. Nguyen, D.T., Cho, S.R. ve Park, K.R., 'Human age estimation based on multi-level local binary pattern and regression method', Future Information Technology Springer, (2014) 433-438.
64. Zhang, L., Chu, R., Xiang, S., Liao, S. ve Li, S.Z., 'Face detection based on multi-block lbp representation', Advances in biometrics Springer, (2007) 11-18.
65. Wright, J., Yang, A.Y., Ganesh, A., Sastry, S.S. ve Ma, Y., 'Robust face recognition via sparse representation', IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 31, 2 (2009) 210-227.
66. Zhang, L., Yang, M. ve Feng, X., 'Sparse representation or collaborative representation: Which helps face recognition?', IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Nov 2011, 2011 Barcelona, Spain 471-478.

67. Xu, Y., Zhang, D., Yang, J. ve Yang, J.-Y., 'A two-phase test sample sparse representation method for use with face recognition', IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 21, 9 (2011) 1255-1262.
68. Deng, W., Hu, J. ve Guo, J., 'Extended SRC: Undersampled face recognition via intraclass variant dictionary', IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 34, 9 (2012) 1864-1870.
69. Candes, E. ve Romberg, J., 'l1-magic: Recovery of sparse signals via convex programming', www.acm.caltech.edu/l1magic/downloads/l1magic.pdf, 4,(2005) 4-14.
70. Donoho, D.L., 'For most large underdetermined systems of linear equations the minimal ', Communications on pure and applied mathematics, 59, 6 (2006) 797-829.
71. Yüceer, C. ve Oflazer, K., 'A rotation, scaling, and translation invariant pattern classification system', Pattern Recognition, 26, 5 (1993) 687-710.
72. Almaadeed, S., Bouridane, A., Crookes, D. ve Nibouche, O., 'Partial shoeprint retrieval using multiple point-of-interest detectors and SIFT descriptors', Integrated Computer-Aided Engineering, 22, 1 (2015) 41-58.
73. Nabiyev, N., 'Ayakkabı İzlerinin Otomatik Sınıflandırılması', 3. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, April 2010, Çankaya Üniversitesi, Ankara 10-19.
74. Günay, A. ve Nabiyev, N., 'A new facial age estimation method using centrally overlapped block based local texture features', Multimedia Tools and Applications Springer, (2017) 1-27.

ÖZGEÇMİŞ

Sayyad ALIZADEH, 1981’de İran’ın Miandoab şehrinde doğdu. İlkokulu, ortaokulu ve liseyi Miandoab şehrinde bitirdi. Şebister İslami Azad Üniversitesi’nden 2006’da Bilgisayar Mühendisliği’ni ve 2009’da Yüksek Lisans Bilgisayar Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2008-2012 yılları arasında Tebriz, Miandoab, Bonab, Urmiye ve Mahabad üniversitelerinde öğretim görevlisi olarak çalıştı. 2012’de Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde doktora öğrenimine başladı. Ayrıca 2013’ten itibaren İran İslam Cumhuriyeti Trabzon Başkonsolosluğu’nda tercüman olarak çalışmaya başladı ve halen görevine devam etmektedir.