

# روشی مطمئن برای مقابله با مشکلات طبقه‌بندی اثر انگشت

فائزه میرزایی، حسین ابراهیم‌پور کومله و محسن بیگلری

پایگاه‌های داده بزرگ، مانند پایگاه‌های داده سازمان‌های ملی و بین‌المللی به دلیل حجم بسیار زیاد داده‌ها، عمل مقایسه بسیار زمان‌بر و در بعضی شرایط غیر ممکن خواهد بود. در تشخیص اثر انگشت، زمان پردازش و دقت تشخیص، دو مسئله مهم و قابل بحث می‌باشند. تقسیم پایگاه داده به زیرگروه‌های کوچک‌تر، راه حلی رایج است که سال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کلاس‌ها اولین بار توسط هنری و گلتنون<sup>۸</sup> که از پیشگامان شناسایی اثر انگشت هستند، ارائه شد. هنری پنج کلاس کلی برای آثار انگشت تعیین کرد. این طبقه‌بندی که با توجه به الگوی خطوط اثر انگشت انجام می‌شود، طبقه‌بندی هنری نام گرفت [۱].

پس از طبقه‌بندی، اثر انگشت ورودی تنها با داده‌های کلاس مشابه خود مقایسه می‌شود، بنابراین طبقه‌بندی تا حد بسیار زیادی بر سرعت سیستم شناسایی می‌افزاید. ویژگی‌های مختلفی از اثر انگشت را می‌توان برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار داد. رایج‌ترین ویژگی، ویژگی‌های سطح اول نام دارند. در این نوع ویژگی‌ها، بسته به تغییرات روند حرکت خطوط، دو ویژگی هسته<sup>۹</sup> و دلتا<sup>۱۰</sup> تعریف می‌شود. هنگامی که خطوط به شکل نیم‌دایره یا دایره، تغییر مسیر می‌دهند هسته را ایجاد می‌کنند و دلتا نیز با تغییر جهت یا اتصال مثلثی خطوط ایجاد می‌شود. به هسته و دلتا، نقاط یکتا<sup>۱۱</sup> گفته می‌شود.

یکی از روش‌های استفاده از ویژگی‌های سطح اول، طبقه‌بندی مبتنی بر قانون<sup>۱۲</sup> است. در این نوع طبقه‌بندی، تعداد و محل نسبی نقاط یکتا تعیین‌کننده نوع کلاس هستند. در مراجع بسیاری از ویژگی‌های سطح اول و طبقه‌بندی مبتنی بر قانون استفاده شده است [۲] تا [۵]. در همه این مراجع، قوانین به صورت مطلق بر تصویر ورودی اعمال شده و تنها یک کلاس به عنوان کلاس تصویر برگردانده می‌شود. عیب بزرگ این روش‌ها در این فرض است که طبقه‌بندی سطح اول، دقت بسیار بالایی دارد، در صورتی که در بسیاری از شرایط این فرض برقرار نیست. در چنین شرایطی که تصمیم به دلایل مختلفی ممکن است اشتباه باشد، تصویر ورودی با تصاویر کلاس اشتباه مقایسه می‌شود. در مراجع مذکور و دیگر سیستم‌های مشابه، گاه سیستم بعد از شکست در یافتن اثر انگشت مورد نظر، اعلام خطا کرده و گاه تصویر را با تمام پایگاه داده مقایسه می‌کند. سیستم پیشنهادی این مشکل را با رتبه‌بندی احتمالی حل کرده است.

در این سیستم، احتمال خطای بخش استخراج ویژگی و ابهامات موجود در قوانین طبقه‌بندی سطح اول در نظر گرفته شده و بنابراین به جای ارائه یک کلاس مطلق، صافی از کلاس‌های کاندید معرفی می‌شود. در این صورت اگر تصویر ورودی با تصاویر کلاس اول معادل نباشد، با کلاس بعدی در صف مقایسه خواهد شد. در این روش هیچ کلاسی دور ریخته نمی‌شود و در بدترین حالت، تصویر ورودی با کل پایگاه مقایسه می‌شود با

چکیده: اثر انگشت بیومتریک است که به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردش، بیشترین کاربرد را در سیستم‌های تشخیص و تعیین هویت داشته است. در سیستم‌های تعیین هویت، تصویر ورودی با تمام تصاویر ثبت‌شده در پایگاه مقایسه می‌گردد و در صورتی که پایگاه داده حجیم باشد، عمل مقایسه بسیار زمان‌بر خواهد بود. برای نمونه می‌توان به پایگاه‌های داده موجود در FBI اشاره نمود. یکی از راه حل‌های تأییدشده برای افزایش سرعت، طبقه‌بندی تصاویر است. در طبقه‌بندی مطلق، به هر اثر انگشت تنها یک کلاس تخصیص می‌یابد. دلایل مختلفی چون نویز یا عدم وجود همه نقاط یکتا در محدوده تصویر، تعیین یک کلاس مطلق برای همه تصاویر را دچار مشکل می‌کند. در این مقاله، روشی جدید بر پایه طبقه‌بندی احتمالی ارائه شده که برای هر تصویر ورودی، مجموعه‌ای از کلاس‌ها مشخص می‌شود که هر یک دارای یک احتمال می‌باشند. در مرحله انطباق، کلاس‌ها به ترتیب اولویتشان جستجو می‌شوند. آزمایشات صورت‌گرفته بر روی پایگاه داده شناخته‌شده FVC ۲۰۰۲، تأثیر استفاده از طبقه‌بندی احتمالی را به روشنی نشان داده است. با در نظر گرفتن کلاس‌های دوم و سوم تعیین‌شده توسط روش پیشنهادی، دقت شناسایی سیستم تقریباً ۱۸٪ افزایش یافته است، در صورتی که سرعت آن، ۲ تا ۳ برابر بیشتر از طبقه‌بندی مطلق می‌باشد.

کلیدواژه: شناسایی اثر انگشت، طبقه‌بندی اثر انگشت، طبقه‌بندی احتمالی، طبقه‌بندی مبتنی بر قانون.

## ۱- مقدمه

علم بیومتریک<sup>۱</sup>، علم تصدیق<sup>۲</sup> یا شناسایی<sup>۳</sup> اشخاص بر اساس مشخصات رفتاری یا فیزیکی آنهاست. انواع بیومتریک‌ها همانند اثر انگشت<sup>۴</sup>، چهره<sup>۵</sup>، عنبیه<sup>۶</sup>، شبکیه<sup>۷</sup> و حتی امضا و طریقه راه‌رفتن مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته‌اند. بررسی ویژگی‌های مورد نیاز یک بیومتریک ایده‌آل همچون سادگی در دریافت، جامعیت، پایداری، کارایی نشان داده که اثر انگشت یکی از مناسب‌ترین بیومتریک‌های ممکن است. شناسایی اثر انگشت به معنای تعیین هویت فرد، مستلزم مقایسه اثر انگشت با تک‌تک اثر انگشت‌های موجود در پایگاه داده است. در

این مقاله در تاریخ ۵ شهریور ماه ۱۳۹۲ دریافت و در تاریخ ۵ خرداد ماه ۱۳۹۳ بازنگری شد.

فائزه میرزایی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان،

(email: fmirzaei@grad.kashanu.ac.ir)

حسین ابراهیم‌پور کومله، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان،

(email: ebrahimpour@kashanu.ac.ir)

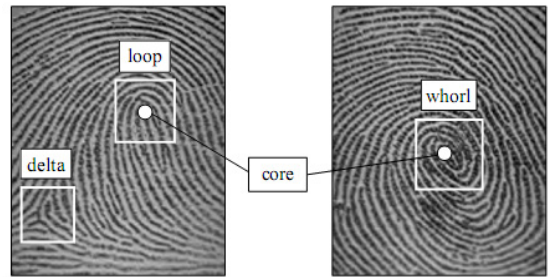
محسن بیگلری، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی

شاهرود، شاهرود، (email: biglari@shahroodut.ac.ir)

1. Biometric
2. Verification
3. Identification
4. Fingerprint
5. Face
6. Iris
7. Retinal

8. Henry & Galton
9. Core
10. Delta
11. Singularity Points
12. Rule Based Classification

روش‌هایی همچون اندیس‌گذاری پوینکاره<sup>۴</sup> یا فیلتر مختلط<sup>۵</sup> استخراج شده شده و در اختیار مراحل بعد گذاشته می‌شود. روش پوینکاره، ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش استخراج نقاط یکتا به شمار می‌رود که از تغییرات محلی جهت لبه در نقاط تصویر استفاده می‌کند [۱۵] تا [۱۷]. در روش فیلتر مختلط، ترکیب دو فیلتر مجزا برای هسته و دلتا به کار گرفته می‌شود. روشن‌ترین نقطه در تصویر نهایی، نقطه یکتای معادل با فیلتر مربوط است که این روش نسبت به اندیس‌گذاری پوینکاره دارای دقت و سرعت بیشتری است [۱۸] و [۱۹]. شکل ۱ یک نمونه هسته و دلتای اثر انگشت را نشان می‌دهد.



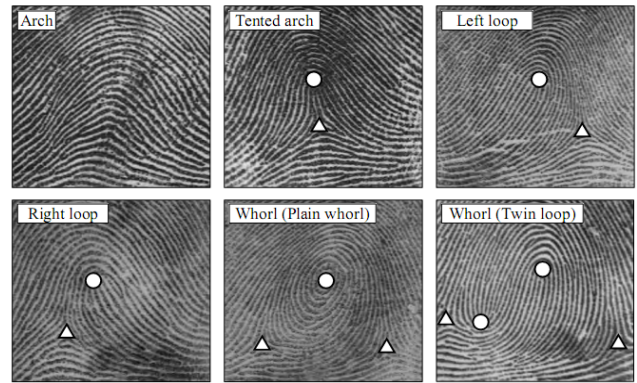
شکل ۱: هسته و دلتا در تصاویر اثر انگشت [۸].

## ۲-۳ طبقه‌بندی

پس از مرحله استخراج ویژگی، طبقه‌بندی صورت می‌گیرد. قوانین طبقه‌بندی مبتنی بر قانون در ادامه ذکر شده که این قوانین به تعداد و محل نسبی نقاط یکتا وابسته‌اند. برای هر اثر انگشت تنها یک کلاس تعیین می‌شود.

- اگر تعداد هسته و دلتا صفر باشد، کلاس اثر انگشت، کمانی<sup>۶</sup> است.
- اگر تعداد هسته و دلتا یک باشد، کلاس اثر انگشت، چپ‌حلقه<sup>۷</sup>، راست‌حلقه<sup>۸</sup> یا خیمه‌ای<sup>۹</sup> است.
- اگر هسته در سمت راست دلتا باشد، راست‌حلقه و اگر در سمت چپ دلتا باشد، چپ‌حلقه است.
- اگر تعداد هسته دو باشد، کلاس اثر انگشت، مارپیچی<sup>۱۰</sup> است. گاه دو دلتا نیز در اطراف دو هسته وجود دارد.

نمونه‌ای از تصاویر هر یک از کلاس‌های هنری در شکل ۲ نشان داده شده است. برخی سیستم‌ها به جای پنج کلاس از چهار کلاس استفاده کرده‌اند که در آنها، کلاس‌های کمانی و خیمه‌ای هر دو با نام کمانی مشخص گردیده‌اند [۴].



شکل ۲: نقاط یکتا در پنج کلاس معروف هنری [۱].

این تفاوت که احتمال رخ دادن چنین حالتی بسیار کم است. دقت گزارش شده در بخش آزمایشات این مسئله را نشان می‌دهد. در ادامه، مراحل مورد نیاز برای طبقه‌بندی در بخش ۲ معرفی و در بخش ۳، سیستم پیشنهادی به تفصیل توضیح داده شده است. نتایج آزمایشات نیز در بخش ۴ ارائه گردیده و در پایان، نتیجه‌گیری و ایده‌هایی برای کارهای آینده آورده شده است.

## ۳- سیستم پیشنهادی

### ۱-۳ پیش پردازش

در این مقاله ابتدا تأثیر روش‌های بهبود بر کارایی استخراج نقاط یکتا بررسی شده است. در تصاویر نویزی که میزان نویز در آنها به میزان قابل توجهی است، روش‌های بهبود نقشی کلیدی را ایفا می‌کنند. در ادامه به شرح مختصری از چند روش مطرح و روش پیشنهادی پرداخته می‌شود. یکی از روش‌های بهبود تصویر بر اساس تبدیل فوریه سریع عمل می‌کند [۱۴] و [۲۰]. این روش که انتقال فوریه پنجره‌ای<sup>۱۱</sup> (WFT) نام دارد، در سه مرحله صورت می‌گیرد:

- تبدیل تصویر به حوزه فرکانسی توسط تبدیل فوریه سریع (FFT)
  - ضرب طیف تصویر در قالب‌های خاص
  - تبدیل طیف فیلتر شده به حوزه فضایی
- فیلتر گابور<sup>۱۲</sup> [۱۲]، [۱۳]، و [۲۱] و [۲۲] به افزایش تفاوت رنگ در جهت

## ۲- مراحل مورد نیاز برای طبقه‌بندی

### ۱-۲ پیش پردازش

هنگامی که تصویر اثر انگشت به سیستم شناسایی داده می‌شود، نیازمند پیش‌پردازش‌هایی است تا کنتراست و کیفیت آن کنترل شود. مرحله‌ی چون قطع‌بندی<sup>۱</sup>، بهبود<sup>۲</sup> و نرمال‌سازی نیز برای افزایش کیفیت تصویر استفاده می‌شوند [۶] تا [۱۰]. قطع‌بندی به معنای جداسازی محدوده مفید تصویر اثر انگشت از پس‌زمینه است. این عمل با روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که روش‌های مبتنی بر گرادیان و آستانه‌گذاری، نمونه‌هایی از آنها هستند [۱۱]. در مرحله بهبود، تصویر با فیلتر یا مجموعه‌ای از فیلترهای خاص ترکیب می‌شود. این فیلترها که اغلب در حوزه فرکانس عمل می‌کنند، موجب وضوح بیشتر خطوط می‌گردند. فیلتر گابور، گابور لگاریتمی و مرکب<sup>۳</sup> از شناخته‌شده‌ترین فیلترهای متنی هستند هستند [۱۲] تا [۱۴].

### ۲-۲ استخراج ویژگی

پس از آماده‌سازی اولیه تصویر، ویژگی‌های مورد نیاز برای طبقه‌بندی استخراج می‌شوند. در طبقه‌بندی سطح اول، نقاط یکتا با استفاده از

1. Segmentation
2. Enhancement
3. Composite

4. Poincare Index
5. Complex Filter
6. Arch
7. Left Loop
8. Right Loop
9. Tented Arch
10. Whorl
11. Windowed Fourier Transformation
12. Gabor



شکل ۴: نتیجه تشخیص هسته با استفاده از روش پوینکاره در سطر اول و روش فیلتر مختلط در سطر دوم.

نرمال‌سازی شده و سپس تصویر جهت‌دار و تصویر فرکانسی بلوک‌های تصویر اولیه استخراج می‌شوند. در مرحله سوم، مناطق قابل تعمیر و غیر قابل تعمیر برچسب‌گذاری می‌گردند. پس از آن، بانکی از فیلترهای گابور با استفاده از تصویر نرمال، تصویر جهت‌دار و تصویر فرکانسی بر تصویر اعمال می‌شود. در این مرحله اگر منطقه‌ای غیر قابل تعمیر باشد از تصویر حذف می‌شود و اگر قابل تعمیر باشد، بهبود می‌یابد. نمونه‌ای از نتیجه سیستم پیشنهادی در شکل ۳ آورده شده است.

### ۳-۲ استخراج نقاط یکتا

همان طور که پیش‌تر اشاره شد، یکی از روش‌های اولیه برای شناسایی نقاط یکتای اثر انگشت، روش اندیس‌گذاری پوینکاره نام دارد. اغلب تصاویر اثر انگشت دارای نویز ذاتی یا تصویری می‌باشند و روش اندیس‌گذاری پوینکاره در مواردی که تصویر دارای نویز متوسط یا زیاد باشد، دقت پایینی دارد. نسخه‌های تکمیلی روش پوینکاره نیز با وجود ارتقای دقت، از سرعت و کارایی نسبی پایینی برخوردارند. سیستم ارائه‌شده در این مقاله بر پایه روش سریع و کارای فیلتر مختلط بنا نهاده شده است [۱۸] و [۲۴] تا [۲۶]. این روش نسبت به روش پوینکاره پایداری بیشتری نسبت به نویز و چرخش داشته و سریع‌تر و دقیق‌تر است. در شکل ۴ تفاوت دقت این دو روش در تشخیص هسته نشان داده شده است.

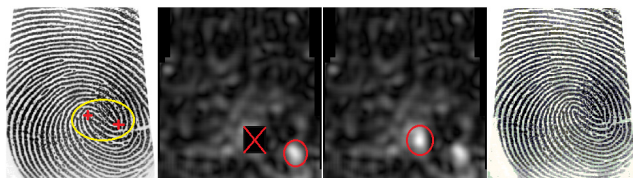
با پیاده‌سازی محض توابع و فیلترهای مختلط، فقط یک هسته یا دلتا استخراج می‌شود، زیرا منطق روش فیلتر مختلط برای تعیین نقاط یکتای تصویر، یافتن روشن‌ترین نقطه در تصویر ترکیبی است. در صورتی که سیستم پیشنهادی علاوه بر شناسایی نقاط یکتای اول، نقاط یکتای دوم را نیز با دقت بالایی تشخیص می‌دهد. برای تشخیص نقاط یکتای دوم که منجر به شناخت انواع کلاس مارپیچی نیز می‌شود، ابتدا روشن‌ترین نقطه در تصویر ترکیبی استخراج شده و به عنوان نقطه یکتای اول ثبت می‌شود، آن‌گاه محدوده روشن مربوط به نقطه یکتای اول تشخیص داده شده و حذف می‌شود. سپس محدوده روشن بعدی که همان نقطه یکتای دوم است، مورد جستجو قرار می‌گیرد. یافتن محدوده مربوط به نقاط یکتای اول و جستجو برای نقاط یکتای دوم به صورت جداگانه انجام می‌شوند و پردازش صورت‌گرفته برای هسته و دلتا متفاوت از یکدیگرند. عملکرد سیستم پیشنهادی در شکل ۵ نشان داده شده است.

### ۳-۳ نیاز به طبقه‌بندی احتمالی

الگوریتم‌های مناسب قادرند نقاط یکتا را در تصاویر اثر انگشت با کیفیت به خوبی استخراج نمایند. در این صورت تعیین کلاس اثر انگشت نیز تا



شکل ۳: خروجی مرحله بهبود سیستم پیشنهادی. سطر اول، تصویر ورودی و سطر دوم، تصویر دودویی بهبودیافته.



شکل ۵: از سمت راست: تصویر ابتدایی، جستجو برای هسته اول، تشخیص و حذف محدوده هسته اول و جستجو برای هسته دوم و تشخیص دقیق مکان دو هسته.

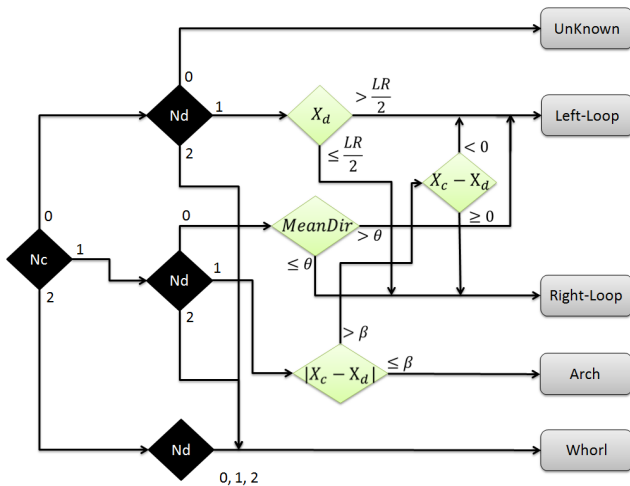
عمود بر لبه و یک‌دست کردن رنگ در جهت لبه می‌پردازد و با این عمل لبه‌ها پررنگ‌تر و شیارها کم‌رنگ‌تر می‌شوند. به جای محاسبه بهترین فیلتر برای هر پیکسل، تعدادی فیلتر از پیش تعیین شده در نظر گرفته می‌شود که هر فیلتر دارای یک فرکانس و یک جهت مشخص است. در هنگام اعمال فیلتر به تصویر، با توجه به فرکانس و جهت هر پیکسل، نزدیک‌ترین فیلتر بر روی آن پیکسل اعمال می‌شود.

فیلتر گابور لگاریتمی<sup>۱</sup> توسط ونگ<sup>۲</sup> برای رفع معایب روش گابور مطرح مطرح شد [۱۰]. یکی از معایب روش گابور، محدودیت پهنای باند آن است و برای اطلاعات طیف گسترده بهینه نیست و همچنین همیشه سیگنال عمود بر جهت محلی، حالت سینوسی ندارد. این فیلتر می‌تواند با پهنای باند دلخواه ساخته شود و به صورت محلی کار کند. در این روش ابتدا تصویر توسط WFT به حوزه فرکانسی تبدیل می‌شود. سپس طیف فرکانسی با بانکی از فیلترهای گابور لگاریتمی فیلتر می‌شود. این فیلتر در مختصات قطبی می‌تواند به دو مؤلفه تقسیم می‌شود: فیلتر شعاعی و فیلتر زاویه‌ای.

کیل<sup>۳</sup> در [۲۳] برای بهبود تصویر از روش مرکب استفاده کرد که به صورت مرحله‌ای عمل می‌کند. این مراحل شامل بهبود کنتراست، فیلترسازی در حوزه فرکانسی و فضایی و ماسک سریع بر روی تصویر خاکستری می‌باشد. به منظور هموارسازی چگالی و غلظت تصویر از روش بسط چگالی<sup>۴</sup> توسط عملگر گاما استفاده می‌شود. سپس با تبدیل فوریه تصویر جدید، طیف فرکانسی ایجاد می‌گردد. این طیف فرکانسی با فیلتر بالاگذر ترکیب می‌شود تا بتواند لبه‌های تصویر را نمایان سازد، سپس معکوس تبدیل فوریه بر طیف اعمال می‌گردد. تصویر خروجی با قالب سریعی ترکیب شده و لبه‌ها را در هشت جهت شناسایی می‌کند، از میانگین فیلترها برای هموارسازی لبه‌های اثر انگشت استفاده می‌شود.

در سیستم پیشنهادی از روشی مشابه روش مرکب، برای بهبود تصاویر استفاده شده است [۸]. در این روش به صورت مرحله‌ای، ابتدا تصویر

1. Log-Gabor
2. Wang
3. Kale
4. Stretching Intensity



شکل ۸: قوانین سیستم پیشنهادی برای دسته‌بندی سطح اول.



شکل ۹: یک نمونه اثر انگشت با کلاس ناشناخته از پایگاه داده ۲۰۰۲ FVC.

انطباق نیز به خوبی عمل کند، هیچ معادلی در کلاس اشتباه پیدا نخواهد شد. واضح است که این مسئله، مشکل بسیار بزرگی است زیرا فقط یک کلاس، نامزد کلاس تصویر ورودی است و در صورت اشتباه بودن، انتخاب دیگری وجود ندارد. در روش طبقه‌بندی احتمالی پیشنهادی، این مشکل بزرگ رفع شده است.

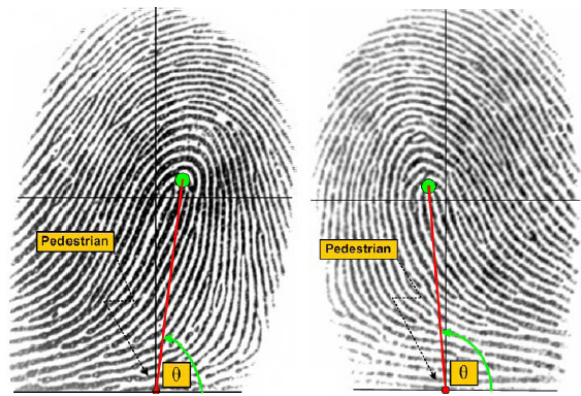
### ۳-۴ طبقه‌بندی احتمالی

در روش طبقه‌بندی پیشنهادی، برای نتایج مرحله استخراج و قوانین طبقه‌بندی، اطمینان صد در صد در نظر گرفته نمی‌شود. قوانین پیشنهادی برای طبقه‌بندی به صورت زیر اصلاح شده است:

- اگر تعداد هسته و دلتا صفر باشد، کلاس اثر انگشت ناشناخته است.
- اگر تعداد هسته و دلتا یک باشد، کلاس اثر انگشت چپ‌حلقه، راست‌حلقه یا کمانی است.
- اگر تعداد هسته یک و تعداد دلتا صفر باشد، کلاس اثر انگشت چپ‌حلقه یا راست‌حلقه است.
- اگر تعداد هسته صفر و تعداد دلتا یک باشد، کلاس اثر انگشت چپ‌حلقه یا راست‌حلقه است.
- اگر تعداد هسته یا دلتا دو باشد، کلاس ماریچی است.

به این صورت، چهار کلاس راست‌حلقه، چپ‌حلقه، ماریچی و کمانی قابل تفکیک هستند. شکل ۸ قوانین استفاده شده در سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهد که  $Nc$  تعداد هسته،  $Nd$  تعداد دلتا و  $Xc$  و  $Xd$  نیز به ترتیب مختصات دلتا و هسته در محور افقی را تعیین می‌کنند. میانگین جهت‌های بلوک‌های همسایه را  $MeanDir$  نامیده‌ایم. کلاس ناشناخته برای مواقعی است که هیچ نقطه یکتایی در تصویر وجود نداشته باشد و شکل ۹ نمونه‌ای از کلاس ناشناخته را نشان می‌دهد.

اگر تعداد هسته‌های شناخته شده صفر و تعداد دلتا یک باشد، بسته به این که دلتا در چه موقعیتی قرار دارد، یکی از کلاس‌های چپ‌حلقه و راست‌حلقه انتخاب می‌شوند. موقعیت دلتا نسبت به ناحیه مفید تصویر،



شکل ۶: قوانین تفکیک کلاس‌های تک‌هسته‌ای در [۴].

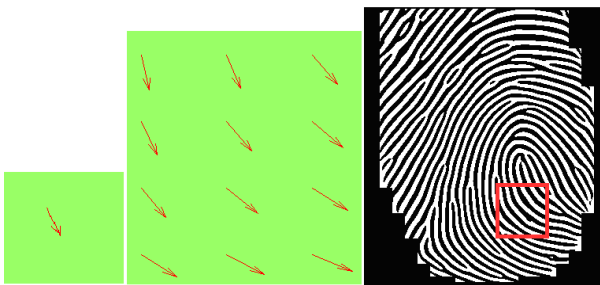


شکل ۷: مثال نقض قوانین تفکیک استفاده شده در [۴].

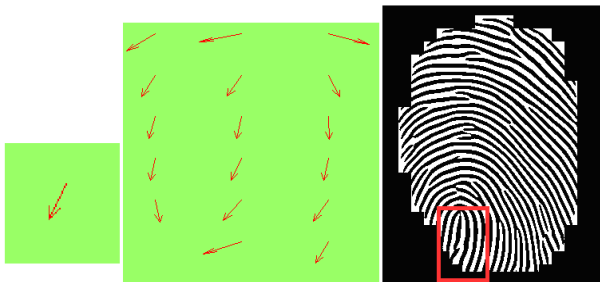
حد زیادی مطمئن خواهد بود، منتها در تصاویر کم کیفیت، مشکلات فراوانی بر سر راه مراحل مختلف پردازش وجود دارد. در برخی از این تصاویر، استخراج نقاط یکتا به دلیل نویز بسیار زیاد، غیر ممکن است. در برخی دیگر، مکان دقیقی از نقاط یکتا به دست نمی‌آید. گاه نقطه یکتا در حاشیه قرار داشته و در محدوده تصویر نیست و از طرفی برای برخی کلاس‌ها، دو نقطه یکتا نیاز است که در این موارد، استخراج دقیق دو نقطه یکتا بر مشکلات می‌افزاید.

علاوه بر مشکلات مربوط به مرحله استخراج ویژگی، با فرض صحت اطلاعات مرحله قبل، طبقه‌بندی دقیق اثر انگشت در بعضی تصاویر ممکن نیست. در قوانین موجود در طبقه‌بندی مبتنی بر قانون، ابهاماتی وجود دارد، به عنوان مثال اگر تصویر چرخیده باشد و یا هسته و دلتا به هم نزدیک باشند، تفکیک کلاس‌های راست‌حلقه، چپ‌حلقه و کمانی مشکل خواهد بود. در مواقعی که فقط یک هسته در تصویر وجود دارد، قوانین موجود کلاسی را تعیین نمی‌کنند. در بسیاری از تصاویر اثر انگشت، دلتا از حاشیه بیرون رفته و در تصویر مشخص نیست. در این موارد، راه حلی مناسبی سنجیده نشده و اغلب راه حل‌های موجود جامع نبوده و مثال‌های نقض فراوانی برای آنها وجود دارد [۴] و [۲۷]. مثلاً شکل ۶، قانون ارائه شده در [۴] را در حالت تک‌هسته‌ای برای تعیین کلاس اثر انگشت نشان می‌دهد. در این مرجع، ناحیه مورد استفاده تصویر از طول به دو قسمت فرضی تقسیم شده و در حالتی که هسته در سمت راست خط فرضی باشد، کلاس چپ‌حلقه و در غیر این صورت، کلاس راست‌حلقه تشخیص داده می‌شود. در شکل ۷ مثال‌های نقض این قانون آمده است.

با توجه به مشکلات اشاره شده و مشکلات دیگری از این قبیل، طبقه‌بندی تصاویر اثر انگشت کم کیفیت و با کیفیت متوسط، هیچ گاه صد در صد مطمئن نیست. در طبقه‌بندی مطلق، طبقه‌بندی اشتباه باعث بروز اشکال در روند کلی سیستم خواهد شد، به شکلی که اگر طبقه‌بندی کلاس اثر انگشت را به اشتباه تشخیص دهد، تصویر ورودی در مرحله بعد با داده‌های کلاس اشتباه مقایسه خواهد شد. بنابراین حتی اگر الگوریتم



شکل ۱۱: (الف) تصویری از کلاس راست‌حلقه با یک هسته، (ب) جهت بلوک‌های همسایه هسته و (ج) جهت میانگین بلوک‌ها.



شکل ۱۲: (الف) تصویری از کلاس چپ‌حلقه با یک هسته، (ب) جهت بلوک‌های همسایه هسته و (ج) جهت میانگین بلوک‌ها.

که مقدار روشنایی به دست آمده برای نقطه یکتای اول یا دوم از حد آستانه مشخصی کمتر باشد تشخیص مربوط، اشتباه تلقی می‌شود. برای یافتن حد آستانه‌ای که کمترین خطای ممکن را در بر داشته باشد از روش پیشنهادی زیر استفاده شده است. برای هر نقطه یکتا (هسته اول و دوم، دلتای اول و دوم) تصاویر بر اساس مقادیر عددی (روشنایی) مربوط به نقطه یکتای مربوط مرتب می‌شوند. بهترین حد آستانه با یک بار پیمایش این لیست مرتب محاسبه می‌شود. هر بار حد آستانه بر روی یک عنصر قرار داده می‌شود و خطای حاصل از در نظر گرفتن حد آستانه در آن مکان محاسبه می‌شود، به این صورت که برای هر عنصر لیست، چهار جمع محاسبه و نگهداری می‌شود. از این پس اگر در یک تصویر، نقطه یکتای مربوط واقعاً وجود داشته باشد، آن را با true و در غیر این صورت آن را با false نشان می‌دهیم.

- تعداد کل مقادیر true با  $T^+$  نمایش داده می‌شود.

- تعداد کل مقادیر false با  $T^-$  نشان داده می‌شود.

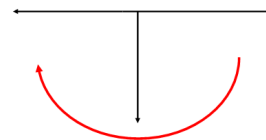
- تعداد true ها از ابتدای لیست تا عنصر مورد نظر با  $S^+$  مشخص می‌شود.

- تعداد false ها از ابتدای لیست تا عنصر مورد نظر با  $S^-$  مشخص می‌شود.

خطا برای هر عنصر لیست (به عنوان حد آستانه) طبق (۲) محاسبه می‌شود. به عبارتی اگر مقادیر قبل از آستانه را عدم تشخیص نقطه یکتا و مقادیر بعد از آن را تشخیص نقطه یکتا در نظر بگیریم، خطا برابر خواهد بود با تعداد true های قبل از آستانه به علاوه تعداد false های بعد از آستانه. تعداد true های قبل از آستانه با  $S^+$  مشخص می‌شود و بنابراین، تعداد false های بعد از آستانه از تفریق تعداد false های قبل از آستانه از تعداد کل false ها محاسبه می‌شود

$$e = \min(S^+ + (T^- - S^-), S^- + (T^+ - S^+)) \quad (2)$$

بخش دوم (۲) خطا را در حالتی محاسبه می‌کند که مقادیر قبل از آستانه، تشخیص نقطه یکتا و مقادیر بعد از آن، عدم تشخیص نقطه یکتا در نظر گرفته شود. حد آستانه بر روی هر یک از عناصر قرار داده شده و این دو



شکل ۱۰: مقادیر MeanDir در دایره مثلثاتی.

سنجیده می‌شود، به این صورت که اگر موقعیت دلتا در نیمه سمت چپ این ناحیه باشد، کلاس راست‌حلقه و در غیر این صورت، کلاس چپ‌حلقه تشخیص داده می‌شود.

اگر تعداد هسته صفر و تعداد دلتا دو باشد، کلاس ماریچی تشخیص داده می‌شود. هنگامی که تعداد هسته یک باشد، تصمیم‌گیری بر اساس تعداد دلتا انجام می‌گیرد و اگر تعداد دلتا صفر باشد، باید بین راست یا چپ‌حلقه بودن کلاس تصمیم گرفته شود. از این پس در این مقاله تعداد هسته‌ها با  $Nc$  و تعداد دلتا با  $Nd$  نشان داده می‌شود. در اکثر سیستم‌های موجود، برای حالت چپ و راست‌حلقه، فقط امکان وجود  $Nc = 1$  و  $Nd = 1$  در نظر گرفته شده است در حالی که در بسیاری از تصاویر کم کیفیت، مخصوصاً در پایگاه داده FVC، دلتا از حاشیه خارج شده و قابل مشاهده نیست. در سیستم‌هایی که برای این مسئله راه حل سنجیده‌اند نیز این راه حل جامع نبوده است [۴]. روش پیشنهادی برای رفع این مشکل، استفاده از جهت همسایگی هسته می‌باشد. در این روش، ابتدا تصویر به تعدادی بلوک با اندازه  $W$  تقسیم شده، سپس جهت بلوک‌های همسایه هسته با استفاده از روش گرادین محاسبه می‌شود. میانگین جهت‌های بلوک‌های همسایه را  $MeanDir$  می‌نامیم که در نیم‌دایره پایین مثلثاتی از راست به چپ متغیر است (شکل ۱۰). اگر  $MeanDir$  در سمت راست نیم‌دایره واقع شود، کلاس راست‌حلقه را نشان می‌دهد و در غیر این صورت، کلاس چپ‌حلقه انتخاب می‌شود. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نمونه‌ای از هر دو کلاس چپ و راست‌حلقه و جهت همسایگی هسته آنها را نشان می‌دهد. تعداد بلوک‌های همسایگی، انتخاب بلوک‌ها و انتخاب اندازه هر بلوک با آزمون کلاس‌های چپ و راست‌حلقه به دست آمده‌اند.

اگر  $Nc = 1$  و  $Nd = 1$  باشد، تصمیم‌گیری بین کلاس‌های چپ‌حلقه، راست‌حلقه و کمانی خواهد بود. برای این مسئله ابتدا فاصله افقی هسته و دلتا محاسبه می‌شود، اگر این مقدار  $(|X_c - X_d|)$  کمتر از حد آستانه کوچک  $\beta$  باشد، کلاس را کمانی قرار می‌دهیم (۱). در غیر این صورت اگر  $X_c - X_d \geq 0$  باشد، کلاس راست‌حلقه و اگر  $X_c - X_d < 0$  باشد، کلاس چپ‌حلقه انتخاب می‌شود. در حالتی که  $Nc = 1$  و  $Nd = 2$  باشد، کلاس ماریچی تشخیص داده شده و در حالتی که  $Nc = 2$  باشد، به ازای تمام مقادیر  $Nd$ ، کلاس ماریچی در نظر گرفته می‌شود

$$|X_c - X_d| \leq \beta \quad (1)$$

در سیستم احتمالی پیشنهادی بر اساس درصد اطمینان و درصد خطای بخش استخراج ویژگی، تصمیم‌گیری انجام می‌شود و هیچ کلاسی کنار گذاشته نمی‌شود. خروجی مرحله استخراج ویژگی که از روش فیلتر مختلط اصلاح‌شده استفاده می‌کند، چهار مختصات برای چهار نقطه یکتاست. مطمئناً در بعضی تصاویر، همه این نقاط یکتا به شکل صحیح تشخیص داده نشده‌اند، پس باید به روشی تعدادی از این نقاط زاید را حذف نمود. یکی از راه‌های حذف نقاط زاید، در نظر گرفتن یک حد آستانه است. روش فیلتر مختلط اصلاح‌شده از تصویر ورودی، آرایه‌ای از مقادیر روشنایی به دست می‌آورد که روشن‌ترین نقطه را به عنوان نقطه یکتای اول، تشخیص داده و نقطه روشن دوم را به عنوان نقطه یکتای دوم. در صورتی

(۵) و (۶) تعریف می‌شوند ( $SP$  نمایانگر نقاط یکتاست) و این دو نرخ به ترتیب با  $\alpha$  و  $\beta$  نشان داده شده‌اند. در ابتدا سیستم فرض می‌کند که تمام تصمیمات مرحله استخراج صحیح است و احتمال چنین فرضی با (۷) محاسبه می‌شود

$$CD = [C_+ - C_- - D_+ + D_-]$$

$$Hit Rate(SP_i) = \alpha_i \quad i = 1:4, SP = \{C, D\} \quad (5)$$

$$Miss Rate(SP_i) = \beta_i \quad i = 1:4, SP = \{C, D\} \quad (6)$$

$$P_i = \alpha_i(1 - \beta_i)\alpha_i(1 - \beta_i) \quad (7)$$

به همین ترتیب احتمال فرض صحت یا عدم صحت تصمیمات مرحله استخراج ویژگی محاسبه می‌شوند. همان طور که پیش‌تر اشاره شد، برای انتخاب کلاس‌های چپ یا راست‌حلقه در حالتی که فقط یک هسته استخراج شده باشد از جهت همسایگی هسته استفاده می‌شود. در تصاویر کم‌کیفیت، تشخیص صد در صد صحیح جهت، امر دشواری است و به همین دلیل سیستم طبقه‌بندی احتمالی، احتمال خطای این بخش را نیز در نظر می‌گیرد. درصد اطمینان این روش با آزمون تصاویر متعدد یک هسته‌ای توسط سیستم محاسبه می‌شود. در هنگام مشاهده هر یک از کلاس‌های چپ/راست حلقه با یک هسته در حالات ۱۶ گانه، سیستم با استفاده از این درصد اطمینان، احتمال هر یک از دو حالت راست‌حلقه و چپ‌حلقه را نیز در نظر می‌گیرد. این احتمال با استفاده از (۸) محاسبه می‌شود که  $\phi$  درصد اطمینان روش تشخیص کلاس راست/چپ‌حلقه است. فرض کنید سیستمی یک کلاس را با احتمال  $\alpha$  به عنوان راست‌حلقه تشخیص داده است، آن گاه با احتمال  $\beta$ ، کلاسی از نوع چپ‌حلقه خواهیم داشت، یعنی سیستم با ضریب  $1 - \phi$  احتمال خطا در تشخیص را در نظر می‌گیرد

$$\beta = \alpha(1 - \phi) \quad (8)$$

بنابراین پس از اتمام محاسبات همه احتمالات ممکن، در اکثر اوقات بیش از ۱۶ حالت خواهیم داشت. برای هر یک از حالات ممکن، کلاس‌بند با استفاده از قوانین احتمالی، کلاس مربوط به آن حالت را با اطمینان مشخصی اعلام می‌کند. کلاسی که دارای بیشترین مجموع احتمالات است، محتمل‌ترین کلاس تصویر ورودی شناخته می‌شود و به این ترتیب برای هر یک از پنج کلاس معرفی شده، یک احتمال به دست می‌آید. در پایان، کلاس‌ها با توجه به احتمالشان مرتب می‌شوند و در این صورت در مرحله اول، تصویر ورودی فقط با تصاویر محتمل‌ترین کلاس مقایسه می‌شود. اگر داده مشابهی در این کلاس یافت نشود، سیستم به سراغ کلاسی که دارای بیشترین احتمال بعدی است، می‌رود. روش پیشنهادی در بهترین حالت، تصویر ورودی را فقط با تصاویر یک کلاس مقایسه می‌کند و در بدترین حالت، همه کلاس‌ها بررسی می‌شوند که در چنین شرایطی، عملکرد سیستم برابر با یک سیستم بدون طبقه‌بندی احتمالی خواهد بود. از آنجا که محاسبه احتمالات تأثیری در زمان کلی سیستم ندارد، استفاده از روش پیشنهادی در هیچ حالتی، تأثیر منفی ندارد. شکل ۱۳ عملکرد طبقه‌بند مطلق و احتمالی پیشنهادی را با هم مقایسه می‌کند.

#### ۴- نتایج آزمایش‌ها

از پایگاه‌های داده ۲۰۰۰ FVC [۲۸]، ۲۰۰۴ FVC [۲۹]، قسمت‌های DB۱ و DB۲ و CASIA - FingerprintV۵ [۳۰] برای مقایسه روش‌های بهبود، ۲۱۷ تصویر شامل دو هسته و تمامی تصاویر شامل دو

مقدار که خطای مربوط به آن حد آستانه است، محاسبه می‌شوند. نهایتاً مکانی که دارای خطای کمینه است، به عنوان حد آستانه ایده‌آل انتخاب می‌گردد و این روال برای هر چهار نقطه یکتای تصاویر انجام می‌شود.

پس از اتمام کار مرحله قبل، چهار مقدار آستانه برای چهار نقطه یکتای اشاره‌شده، به دست می‌آید. بر اساس خطای ایجادشده از آستانه‌گذاری، چهار پارامتر برای هر نقطه یکتا به صورت زیر تعریف می‌شود:

- هنگامی که نقطه یکتایی true باشد و پس از آستانه قرار گیرد، آن را قبول صحیح<sup>۱</sup> یا TA می‌نامیم.

- هنگامی که نقطه یکتایی true باشد و پیش از آستانه قرار گیرد، آن را رد اشتباه<sup>۲</sup> یا FR می‌نامیم.

- هنگامی که نقطه یکتایی false باشد و پیش از آستانه قرار گیرد، آن را رد صحیح<sup>۳</sup> یا TR می‌نامیم.

- هنگامی که نقطه یکتایی false باشد و پس از آستانه قرار گیرد، آن را قبول اشتباه<sup>۴</sup> یا FA می‌نامیم.

بر اساس چهار پارامتر نام‌برده، برای هر نقطه یکتا دو پارامتر اساسی نرخ اصابت<sup>۵</sup> و نرخ عدم اصابت<sup>۶</sup> محاسبه می‌شود. همان طور که در (۳) و (۴) مشاهده می‌شود، نرخ اصابت با استفاده از تصمیمات قبول (TA) و (FA) و نرخ عدم اصابت با استفاده از تصمیمات رد الگوریتم (FR و TR) محاسبه می‌گردد

$$Hit Rate = \frac{TA}{FA + TA} \quad (3)$$

$$Miss Rate = \frac{FR}{TR + FR} \quad (4)$$

$Hit Rate$  درصد اطمینان سیستم در اعلام وجود یا عدم وجود یک نقطه یکتا و  $Miss Rate$  درصد خطای سیستم در اعلام وجود یا عدم وجود یک نقطه یکتا در تصویر است. پس از اعلام نقاط یکتای تصویر توسط مرحله استخراج، تمام حالاتی که هر یک از تشخیص‌های اعلام‌شده، صحیح یا اشتباه باشند در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که چهار نقطه یکتا وجود دارد، ۱۶ حالت کلی برای صحیح و اشتباه‌بودن نتیجه استخراج محاسبه خواهد شد. برای نقاط یکتای معتبر (true) اگر سیستم فرض کند که مرحله قبل انتخاب درستی داشته است، از  $Hit Rate$  و در غیر این صورت از  $1 - Hit Rate$  استفاده می‌کند. به طور مشابه برای نقاطی که در مرحله استخراج حذف شده‌اند (false)، اگر سیستم فرض کند که مرحله قبل انتخاب درستی داشته است، از  $1 - Miss Rate$  و در غیر این صورت از  $Miss Rate$  استفاده می‌کند. این مسئله برای هر چهار نقطه یکتا صادق است. پس از آن بر اساس اطمینان یا عدم اطمینان مربوط به تشخیص هر نقطه یکتا، احتمال هر حالت محاسبه می‌شود.

برای نمونه، روش محاسبه یکی از احتمالات در ادامه شرح داده شده است. مجموعه  $CD$  را به عنوان خروجی مرحله استخراج ویژگی در نظر بگیرید.  $C_+$  به معنی اعلام وجود هسته اول و  $C_-$  به معنی اعلام عدم وجود هسته دوم در تصویر است (به همین ترتیب برای دلتای اول و دوم). همچنین  $Hit Rate$  و  $Miss Rate$  برای نقاط یکتا با استفاده از

1. True Acceptance
2. False Rejection
3. True Rejection
4. False Acceptance
5. Hit Rate
6. Miss Rate

جدول ۱: مقایسه دقت سیستم استخراج ویژگی به صورت منفرد و با ترکیب با روش‌های بهبود برای تشخیص دو دلتا.

سیستم پیشنهادی همراه پیش‌پردازش		درصد شناسایی در ۴۰ تصویر منتخب شامل دو دلتا
بدون پیش‌پردازش	۸۲٫۵٪	
HE	۸۵٪	
WFT	۸۷٫۷۵٪	
گابور	۹۵٪	
گابور لگاریتمی	۱۰۰٪	
مرکب	۱۰۰٪	
روش پیشنهادی	۱۰۰٪	

جدول ۲: مقایسه دقت سیستم استخراج ویژگی به صورت منفرد و با ترکیب با روش‌های بهبود برای تشخیص دو هسته.

سیستم پیشنهادی همراه پیش‌پردازش		درصد شناسایی در ۲۱۷ تصویر شامل دو هسته
بدون پیش‌پردازش	۸۲٫۰۲٪	
HE	۸۳٫۴۱٪	
WFT	۸۸٫۹۴٪	
گابور	۹۲٫۶۲٪	
گابور لگاریتمی	۹۴٫۴۷٪	
مرکب	۹۵٫۸۵٪	
روش پیشنهادی	۹۸٫۱۵٪	

جدول ۳: درصد اطمینان و درصد خطای محاسبه‌شده برای مرحله استخراج ویژگی.

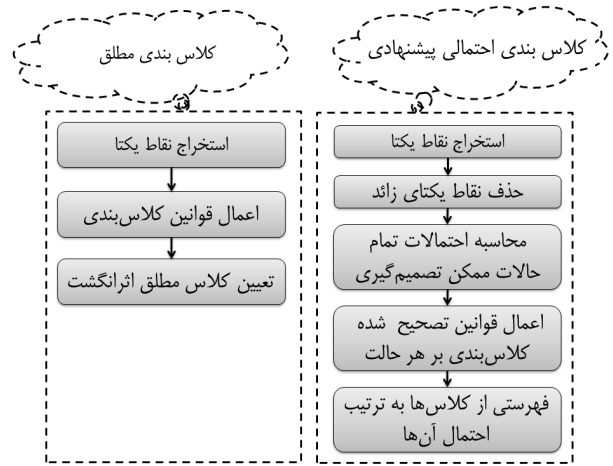
	$C_1$	$C_2$	$D_1$	$D_2$
Hit Rate	۹۸٫۸۶	۸۷٫۵	۹۲٫۱۸	۸۰
Miss Rate	۰	۹٫۸۷	۴٫۸	۰٫۸۸

برای آزمون تصاویر توسط سیستم، ابتدا درصد اطمینان و درصد خطای مرحله استخراج ویژگی همان طور که در جدول ۳ آورده شده، به صورت آفلاین برای تصویر این پایگاه محاسبه شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که درصد اطمینان در تشخیص نقاط یکتای اول بیشتر از نقاط یکتای دوم است.

دقت سیستم پیشنهادی بر روی پایگاه داده ۲۰۰۲ FVC در چهار سطح محاسبه شده است: در سطح اول، تنها محتمل‌ترین کلاس با کلاس واقعی تصویر ورودی مقایسه می‌شود. در سطح دوم، دو کلاس با بیشترین احتمال، با کلاس واقعی اثر انگشت ورودی مقایسه می‌شوند و این روال تا سطح چهارم به همین شکل دنبال می‌شود. سطح پنجم در نظر گرفتن همه کلاس‌ها است که مطمئناً دقتی برابر با ۱۰۰٪ خواهد داشت. معادله (۹) نحوه محاسبه دقت برای هر یک از حالات چهارگانه را نشان می‌دهد.  $N$  تعداد کل تصاویر موجود در پایگاه و  $N_{correct(i)}$  تعداد تصاویر طبقه‌بندی شده صحیح با در نظر گرفتن  $i$  کلاس با بیشترین احتمال است

$$Accuracy(i) = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} N_{correct(i)}}{N} \quad (9)$$

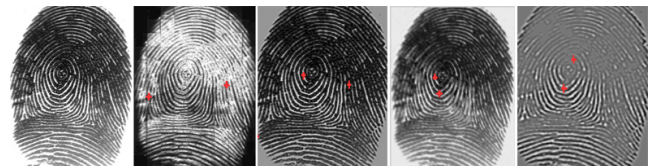
در جدول ۴ دقت‌های به دست آمده توسط سیستم پیشنهادی ارائه گردیده است. حد آستانه برای تمایز بین کلاس‌های کم‌انرژی و راست/چپ‌حلقه به صورت تجربی برابر با ۲۰ پیکسل در نظر گرفته شده است. از جدول ۴ می‌توان استنباط کرد که ترتیب احتمالی به دست آورده شده



شکل ۱۳: مقایسه عملکرد کلاس‌بند مطلق و احتمالی.



شکل ۱۴: چند نمونه از تصاویر منتخب شامل دو هسته و (سطر دوم) چند نمونه از تصاویر منتخب شامل دو دلتا.



شکل ۱۵: از سمت چپ: تصویر اولیه، س‌پ (سیستم پیشنهادی) + WFT، س‌پ + گابور، س‌پ + گابور لگاریتمی و س‌پ + مرکب.

دلتا (۴۰ تصویر) که از لحاظ جهت، میزان نویز و وضوح متفاوت بودند و تصاویر دشوارتری محسوب می‌شدند، استخراج شد. تمامی تصاویر انتخابی دارای نویز بسیار، چرخش و لکه‌های نور بوده و از لحاظ کنتراست متفاوت بوده‌اند. شکل ۱۴ چند نمونه از تصاویر انتخاب‌شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱ و ۲ کارایی سیستم پیشنهادی تشخیص نقاط یکتای دوم را نمایان می‌سازد. در میان روش‌های پیش‌پردازش بررسی‌شده در این دو جدول، روش‌های گابور لگاریتمی، مرکب و روش پیشنهادی کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها داشته‌اند که در این بین، روش مرکب سریع‌تر است. شکل ۱۵ برتری روش‌های گابور لگاریتمی و مرکب را بهتر نشان می‌دهد.

سیستم پیشنهادی بر روی ۸۰۰ تصویر از مجموعه تصاویر پایگاه داده ۲۰۰۲ FVC، DB1-A مورد بررسی قرار گرفت [۳۱]. این پایگاه داده شامل تصاویری با کیفیت پایین است که در برخی از آنها هیچ یک از نقاط یکتا مشهود نیستند. در برخی دیگر نیز به دلیل نویز بسیار زیاد، احتمال تشخیص صحیح نقاط یکتا بسیار کم است.

- [2] A. I. Awad and K. Baba, "Efficient fingerprint classification using singular point," *Int. J. of Digital Information and Wireless Communications*, vol. 1, no. 3, pp. 611-616, 2011.
- [3] M. Bhuyan and D. Bhattacharyya, "An effective fingerprint classification and search method," *Int. Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 9, no. 11, pp. 39-48, Nov. 2009.
- [4] I. S. Msiza, B. Leke - Betechuoh, F. V. Nelwamondo, and N. Msimang, "A fingerprint pattern classification approach based on the coordinate geometry of singularities," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 510-517, 11-14 Oct. 2009.
- [5] L. Wang and M. Dai, "Application of a new type of singular points in fingerprint classification," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, no. 13, pp. 1640-1650, 2007.
- [6] H. Zhang and X. Wang, "A new fingerprint enhancement algorithm," in *Proc. Third IEEE Int. Conf on Broadband Network and Multimedia Technology, IC-BNMT'10*, pp. 1222-1225, Beijing, China, 26-28 Oct. 2010.
- [7] L. O'Gorman and J. V. Nickerson, "An approach to fingerprint filter design," *Pattern Recognition*, vol. 22, no. 1, pp. 29-38, Jan. 1989.
- [8] L. Hong, Y. Wan, and A. Jain, "Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, Aug. 1998.
- [9] K. Arora, and P. Garg, "A quantitative survey of various fingerprint enhancement techniques," *Int. J. of Computer Applications*, vol. 28, no. 5, pp. 24-29, Aug. 2011.
- [10] W. Wang, J. Li, F. Huang, and H. Feng, "Design and implementation of Log-Gabor filter in fingerprint image enhancement," *Pattern Recognition Letters*, vol. 29, no. 3, pp. 301-308, Feb. 2008.
- [11] Y. Wang, J. Hu, and F. Han, "Enhanced gradient-based algorithm for the estimation of fingerprint orientation fields," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 185, no. 2, pp. 823-833, Feb. 2007.
- [12] J. Wang and X. Sun, "Fingerprint image enhancement using a fast Gabor filter," in *Proc. 8th World Congress Intelligent Control and Automation, WCICA*, pp. 6347-6350, 7-9 Jul. 2010.
- [13] M. Yang-Biao, "Fingerprint enhancement based on Gabor Filter [J]," *Computer Engineering and Application*. vol. 45, no. 10, pp. 172-175, 2009.
- [14] C. Watson, G. Candela, and P. Grother, *Comparison of FFT Fingerprint Filtering Methods for Neural Network Classification*, NIST Technical Report 5493 NISTIR-5493, 1994.
- [15] S. Wang, W. W. Zhang, and Y. S. Wang, "Fingerprint classification by directional fields," in *Proc. 4th IEEE Int. Conf. on Multimodal Interfaces*, pp. 395-399, 2002.
- [16] M. Kawagoe and A. Tojo, "Fingerprint pattern classification," *Pattern Recognition*, vol. 17, no. 3, pp. 295-303, 1984.
- [17] A. K. Jain, S. Prabhakar, and L. Hong, "A multichannel approach to fingerprint classification," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 4, pp. 348-359, Apr. 1999.
- [18] K. Nilsson and J. Bigun, "Localization of corresponding points in fingerprints by complex filtering," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, no. 13, pp. 2135-2144, Sep. 2003.
- [19] K. Nilsson and J. Bigun, "Complex filters applied to fingerprint images detecting prominent symmetry points used for alignment," *Biometric Authentication*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 2359, pp. 39-47, 2002.
- [20] G. Aguilar, G. Sanchez, R. Toscano, M. Nakano - Miyatake, and H. Perez-Meana, "Automatic fingerprint recognition system using fast fourier transform and gabor filters," *Cientifica*, vol. 12, no. 1, pp. 9-16, 2008.
- [21] V. Areekul, U. Watchareeruetai, K. Suppasriwasuseth, and S. Tantaratana, "Separable gabor filter realization for fast fingerprint enhancement," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, ICIP 2005*, vol. 3, pp. 253-256, 11-14 Sep. 2005.
- [22] J. Yang, L. Liu, T. Jiang, and Y. Fan, "A modified gabor filter design method for fingerprint image enhancement," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, no. 12, pp. 1805-1817, Aug. 2003.
- [23] K. Kale, R. Manza, V. Humbe, and P. Deshmukh, "Fingerprint image enhancement using composite method," in *Proc. GSPx-2005 Pervasive Signal Processing Conf.*, California USA., 24-27 Oct. 2005.
- [24] A. K. Jain and F. Farrokhnia, "Unsupervised texture segmentation using gabor filters," *Pattern Recognition*, vol. 24, no. 12, pp. 1167-1186, Dec. 1991.
- [25] J. G. Daugman, "Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters," *Optical Society of America, J., A: Optics and Image Science*, vol. 2, no. 7, pp. 1160-1169, Jul 1985.
- [26] <http://onin.com/fp/fphistory.html>, "The history of fingerprint".

جدول ۴: نتیجه آزمون طبقه‌بندی سیستم پیشنهادی بر روی پایگاه داده FVC ۲۰۰۲.

$i$	$Accuracy(i)$	$N_{correct(i)} _{N=...}$
۱	٪۷۹٫۵	۶۳۶
۲	٪۸۸	۷۰۴
۳	٪۹۷٫۵	۷۸۰
۴	٪۹۹٫۱۲	۷۹۳

توسط سیستم برای تصاویر این پایگاه داده صحیح است زیرا با پایین رفتن در این جدول، دقت تشخیص افزایش می‌یابد. علت کم‌بودن نسبی دقت سیستم در سطر اول این جدول ( $Accuracy(1)$ )، نویز شدید و عدم وجود هیچ یک از نقاط یکتا در بعضی تصاویر پایگاه داده است. در نتیجه، نویز و عدم وجود نقاط یکتا، تشخیص نقاط یکتا را برای مرحله استخراج ویژگی بسیار دشوار ساخته است. کاهش دقت در این مرحله بر عملکرد سیستم طبقه‌بندی تأثیر گذاشته است هر چند که سیستم، کلاس درست این تصاویر را نیز در رتبه دوم و نهایتاً سوم تشخیص داده است. اگر توزیع کلاس‌های موجود در پایگاه داده FVC ۲۰۰۲ را تقریباً یکسان در نظر بگیریم، یعنی سهم هر یک از چهار کلاس راست‌حلقه، چپ‌حلقه، مارپیچی و خیمه‌ای ۲۵٪ از تعداد کل کلاس‌ها باشد (که در عمل تعداد کلاس‌های خیمه‌ای کمتر از سایر کلاس‌ها است). با توجه به درصد‌های ارائه‌شده در جدول ۴، مشاهده می‌شود که سیستم پیشنهادی در تقریباً ۸۰٪ مواقع تنها یکی از کلاس‌ها را جستجو می‌کند و در سایر مواقع به احتمال بسیار زیاد، تنها دو کلاس دیگر جستجو می‌شوند. بنابراین به سادگی می‌توان نشان داد که این روش جستجو، افزایش سرعت ۲ الی ۳ برابری را در بر خواهد داشت.

## ۵- نتیجه‌گیری

از آنجا که تصمیم‌گیری مطلق در طبقه‌بندی تصاویر کم‌کیفیت، موجب عملکرد اشتباه در سیستم‌های کاربردی می‌شود، در این مقاله روشی برای طبقه‌بندی مطمئن با رتبه‌بندی احتمالی پیشنهاد شده است. اطمینان در این روش به معنای مقایسه حتمی اثر انگشت با اثر انگشت‌های هم‌کلاس خود در پایگاه داده است. در حالت مطلق، با تشخیص کلاس اشتباه ممکن است اثر انگشت هیچ‌گاه با تصویر هم‌کلاس خود مقایسه نشود. در سیستم پیشنهادی با توجه به نرخ اطمینان و نرخ خطای مرحله استخراج ویژگی و حالات مبهم طبقه‌بندی و با در نظر گرفتن احتمال حالات مختلف کلاس‌ها، پنج کلاس نامزد برای تصویر ورودی در نظر گرفته می‌شود.

سیستم این نامزدها را به ترتیب احتمالشان در صف قرار داده و در صورتی که تصویر ورودی با داده‌های محتمل‌ترین کلاس معادل نباشد، به سراغ کلاس‌های نامزد بعدی می‌رود. این روش موجب افزایش سرعت ۲ تا ۳ برابری در عملکرد سیستم می‌شود و هیچ یک از مشکلات موجود در طبقه‌بندی مطلق را ندارد.

محاسبه درصد اطمینان و درصد خطای مرحله استخراج ویژگی به صورت آفلاین صورت می‌گیرد. بنابراین محاسبه احتمال کلاس‌ها از نظر سرعت، هیچ تأثیری بر سرعت کل سیستم نخواهد داشت.

## مرجع

- [1] D. Maltoni, D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar, *Handbook of Fingerprint Recognition*, Springer-Verlag New York Inc, 2009.



به پایان رساند. سپس به عنوان عضو هیأت علمی جذب دانشگاه کاشان شد و پس از قبولی در امتحان دکتری بورس و اعزام، از سال ۱۳۷۹ عازم کشور استرالیا گشت. او پروژه دکتری خود را در سال ۲۰۰۴ با عنوان "تکنیک های فرکتالی برای شناسایی چهره" در دانشگاه صنعتی کوپینزلند با موفقیت به پایان رساند. دکتر ابراهیم پور پس از اتمام دوره پس‌ادکتری در دانشگاه نیوکاسل استرالیا و همکاری با مرکز تحقیقات علمی استرالیا (CSIRO) به عنوان "Visiting Scientist" در سال ۱۳۸۶ به ایران مراجعت و همکاری خود را با دانشگاه‌های کشور از سر گرفته است. در حال حاضر ایشان عضو هیأت علمی و معاون پژوهشی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه کاشان، همچنین عضو هیأت تحریریه و مدیر داخلی مجله محاسبات نرم و عضو کمیته علمی و داور چندین نشریه علمی و کنفرانس معتبر داخلی و خارجی هستند و از ایشان تا کنون بیش از ۵۰ مقاله علمی در کنفرانس‌ها، مجلات و کتب معتبر علمی انتشار یافته است.

**محسن بیگلری** مدرک کارشناسی خود را در گرایش نرم‌افزار از دانشگاه کاشان در سال ۸۹ دریافت کرد. سپس در سال ۹۱ موفق به اخذ مدرک کارشناسی ارشد در گرایش نرم‌افزار از دانشگاه کاشان گردید. در حال حاضر نیز، دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شاهرود در گرایش هوش مصنوعی است. موضوع پایان‌نامه کارشناسی ارشد او، "تشخیص و شناسایی چهره با استفاده از الگوریتم‌های موازی، توسط کودا" می‌باشد. علایق پژوهشی او در زمینه برنامه‌نویسی موازی و پردازش تصویر است.

- [27] J. W. Wang, "Classification of fingerprint based on traced orientation flow," in *Proc. IEEE Int. Symp. on Industrial Electronics, ISIE*, pp. 1585-1588, 4-7 Jul. 2010.
- [28] D. Maio, D. Maltoni, R. Cappelli, J. L. Wayman, and A. K. Jain, "FVC 2000: fingerprint verification competition," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 3, pp. 402-412, Mar. 2002.
- [29] D. Maio, D. Maltoni, R. Cappelli, J. Wayman, and A. Jain, "FVC2004: Third fingerprint verification competition," in *Proc. of the Int. Conf. on Biometric Authentication*, 5 pp., 2004.
- [30] (11/10/2012). CASIA-FingerprintV5. Available: <http://biometrics.idealtest.org/>
- [31] D. Maio, D. Maltoni, R. Cappelli, J. L. Wayman, and A. K. Jain, "FVC2002: Second fingerprint verification competition," in *Proc. of 16th Int. Conf. on Pattern Recognition*, vol. 3, pp. 811-814, 2002.

**فائزه میرزائی** مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته ی مهندسی کامپیوتر در گرایش نرم‌افزار از دانشگاه کاشان در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱ دریافت کرد. وی هم‌اکنون دانشجوی دکتری هوش مصنوعی در دانشگاه شاهرود می‌باشد. زمینه تحقیقات ایشان پردازش تصویر، بیومتریک و پردازش موازی است.

**حسین ابراهیم‌پور کومله** دوره کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر (سخت افزار) با رتبه اول در دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۷۲ و دوره کارشناسی ارشد را با رتبه ممتاز در دانشگاه صنعتی امیرکبیر در گرایش هوش ماشین و رباتیک در سال ۱۳۷۵