

# کاهش فضای جستجو در بازشناسی اثر انگشت به کمک تصویر بلوک جهتی

صادق هل فروش و حسن قاسمیان

برای  $n$  بزرگ، بسیار زیاد می‌شود. با دسته‌بندی تصاویر اثر انگشت، مقدار  $p$  کاهش یافته و در نتیجه زمان شناسایی اثر انگشت ورودی به مقدار قابل ملاحظه کاهش می‌یابد.

عامل دیگر ارزیابی عملکرد سیستم شناسایی، نرخ پذیرش نادرست<sup>۲</sup> (FAR) می‌باشد. احتمال پذیرش یک ادعای نادرست توسط سیستم تأیید هویت، که در آن تطابق یک به یک صورت می‌گیرد، را FAR می‌نامیم. احتمال پذیرش یک ادعای نادرست توسط سیستم شناسایی، که در آن یک اثر انگشت با کلیه اثر انگشت‌های موجود در پایگاه داده ( $n$ ) تطابق داده می‌شود،  $FAR_n$  نامیده می‌شود. در این صورت می‌توان نوشت

$$FAR_n = 1 - (1 - FAR)^n \quad (2)$$

که البته این مقدار برای یک سیستم با مقدار  $n$  بزرگ، مناسب نیست. در این حالت نیز، دسته‌بندی مقدار فضای جستجو را کاهش می‌دهد تا مقدار  $FAR_n$  به اندازه قابل ملاحظه کاهش یابد. احتمال عدم پذیرش یک ادعای درست را نرخ حذف نادرست<sup>۳</sup> می‌نامیم. نکته قابل توجه آن است که پارامتر نرخ حذف نادرست، در تطابق یک به یک ( $FRR$ ) با تطابق یک به  $n$  ( $FRR_n$ ) تفاوتی ندارد

$$FRR_n = FRR \quad (3)$$

اولین دسته‌بندی اثر انگشت در سه کلاس و به وسیله Galleton صورت گرفته است که شامل کمانی، حلقه‌ای و گردابی بوده است و سپس Henry تعداد کلاس‌ها را به ۵ افزایش داده است که شامل کمانی، کمانی خیمه‌ای، حلقه‌ای راست، حلقه‌ای چپ و گردابی می‌باشد. در مقالات دسته‌بندی اثر انگشت، بیشترین توجه به تصویر جهتی شده است [۱] و [۲]. علت آن است که تصویر جهتی اثر انگشت می‌تواند کلاس‌های مختلف را تعریف کند. اهمیت تصویر بلوک جهتی تا بدان اندازه است که از آن به عنوان مکملی برای ویژگی‌های مینوشیا<sup>۴</sup> در تأیید هویت و شناسایی استفاده شده است [۳] و [۴].

مسئله عمده در روشهای مبتنی بر دسته‌بندی Henry، کمبود تعداد کلاس‌ها و غیر یکنواخت بودن توزیع تصاویر اثر انگشت در کلاس‌های مختلف می‌باشد به طوری که بیش از ۹۰٪ اثر انگشت‌ها متعلق به سه کلاس حلقه‌ای (چپ و راست) و گردابی است [۱]. به علاوه تعداد کمی از تصاویر اثر انگشت به گونه‌ای هستند که به هیچ یک از کلاس‌های Henry متعلق نیستند یا به دو کلاس به صورت همزمان متعلق می‌شوند. لذا ایده‌های زیردسته‌بندی و دسته‌بندی پیوسته (شاخص‌سازی<sup>۵</sup>) ارائه شده است.

چکیده: نخستین مرحله در هر فرایند شناسایی خودکار اثر انگشت، دسته‌بندی است. فرایند دسته‌بندی، با کوچک کردن فضای جستجو، زمان و هزینه را کاهش می‌دهد. روشهای معمول دسته‌بندی، مبتنی بر کلاس‌های قابل رؤیت اثر انگشت است. نظر به تعداد کم این کلاس‌ها و عدم توزیع یکنواخت تصاویر اثر انگشت در این کلاس‌ها، دسته‌بندی پیوسته اثر انگشت مورد توجه قرار گرفته است. در دسته‌بندی پیوسته، یک تابع شباهت تعریف می‌شود و برای شباهت تصاویر موجود در پایگاه داده و اثر انگشت ورودی، با توجه به تابع تعریف شده، درجه‌ای اختصاص می‌یابد. مرحله تطابق اثر انگشت ورودی با تصاویر موجود در پایگاه داده، از تصویری از پایگاه داده آغاز می‌شود که بیشترین شباهت را با ورودی داشته باشد. در این مقاله یک روش برای اندازه‌گیری شباهت و دسته‌بندی پیوسته اثر انگشت مبتنی بر تصویر بلوک جهتی، ارائه شده است. روش ارائه شده نسبت به انتقال و چرخش اثر انگشت مقاوم بوده و نیازی به وجود و آشکارسازی نقطه مرجع ندارد. پیاده‌سازی روش مذکور بر روی پایگاه داده FVC۲۰۰۰، دقت قابل ملاحظه روش را در کاهش فضای جستجو در مقایسه با سایر روشها نشان می‌دهد.

کلیدواژه: اثر انگشت، دسته‌بندی پیوسته، شناسایی، کد انگشت.

## ۱- مقدمه

شناسایی به وسیله اثر انگشت مستلزم مقایسه ویژگی‌های یک اثر با تمام تصاویر موجود در پایگاه داده می‌باشد. در بعضی کاربردها مانند جرم‌شناسی، پایگاه داده ممکن است خیلی بزرگ باشد و لذا زمان شناسایی طولانی می‌شود. سرعت فرایند شناسایی به کمک دسته‌بندی افزایش داده می‌شود. به طوریکه هر اثر انگشت با تعداد کمتری از تصاویر موجود در پایگاه داده مقایسه می‌شود [۱] و [۲].

ضریب نفوذ<sup>۱</sup> یکی از عوامل ارزیابی عملکرد سیستم شناسایی است و به صورت زیر تعریف می‌شود

$$p = k/n \quad (1)$$

که در رابطه فوق،  $n$ ، تعداد تصاویر اثر انگشت موجود در پایگاه داده می‌باشد و  $k$ ، تعداد اثر انگشت‌هایی از پایگاه داده است که، تطابق اثر انگشت ورودی با آنها انجام می‌شود. در یک سیستم ساده، تطابق هر اثر انگشت ورودی با کل پایگاه داده انجام می‌شود و لذا  $p = 1$  است. در این حالت زمان لازم برای جستجو و شناسایی اثر انگشت ورودی، به ویژه

این مقاله در تاریخ ۱ شهریور ماه ۱۳۸۴ دریافت و در تاریخ ۱۵ اسفند ماه ۱۳۸۴ بازنگری شد.

صادق هل فروش، دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی برق و کامپیوتر، تهران، ص پ ۱۱۱-۱۴۱۱۵، ایران (email: mhel@modares.ac.ir).

حسن قاسمیان، دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی برق و کامپیوتر، تهران، ص پ ۱۱۱-۱۴۱۱۵، ایران (email: ghassemi@modares.ac.ir).

1. Penetration Coefficient

2. False Acceptance Rate

3. False Rejection Rate

4. Minutiae

5. Indexing

زیرفضاهای ثابت بوده و بر اساس پیچیدگی هر کلاس مشخص می‌شوند. تعداد زیرفضاهای کلاس‌های پیچیده (مثلاً گردابی) بیشتر است. این روش علاوه بر پیچیدگی، در مقایسه با روش استفاده از کد انگشت، دقت کمتری دارد، اما در مقایسه با روش کد انگشت، خودکار بودن روش، از مزایای آن محسوب می‌شود.

در مرجع [۹]، از سه‌تایی-مینوشیا برای شاخص‌سازی اثر انگشت استفاده شده است. در این روش، ویژگی‌ها، مستخرج از مثلث‌هایی هستند که با ویژگی‌های جزیی مینوشیای اثر انگشت ساخته می‌شوند و این ویژگی‌ها برای محاسبه شباهت دو اثر انگشت بکار گرفته می‌شود. اعمال این روش در شناسایی اثر انگشت به کمک اسکن‌کننده‌های زنده (به ویژه اسکن‌کننده‌های خازنی) که در آنها قسمتی از اثر انگشت اخذ می‌شود و در نتیجه زیرمجموعه‌ای از مینوشیا در دو تصویر اثر انگشت به صورت مشترک وجود دارند، موجب ایجاد خطا در فرایند شناسایی می‌شود.

در این مقاله، روشی برای دسته‌بندی پیوسته اثر انگشت ارائه می‌شود که مبتنی بر تصویر بلوک جهتی می‌باشد. این روش، نیازی به آشکارسازی نقطه قلب و تنظیم تصویر بلوک جهتی نسبت به این نقطه ندارد. در این روش انتقال و چرخش تصاویر اثر انگشت نسبت به یکدیگر در نظر گرفته شده است. در این مقاله، چون در نظر است که روش دسته‌بندی پیوسته مبتنی بر استخراج ویژگی‌های کد انگشت با روش پیشنهادی مقایسه شود ابتدا در بخش ۲ به صورت خلاصه روش استخراج ویژگی‌های کد انگشت تشریح می‌شود. سپس در بخش ۳ روش پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش ۴ نتایج پیاده‌سازی خواهد آمد و در انتها جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

## ۲- اندازه‌گیری شباهت با استفاده از فاصله کد انگشت

در مرجع [۱۰]، روش استخراج ویژگی بافتی از اثر انگشت و تشکیل بردار ویژگی اختصاصی هر اثر انگشت آمده است. بدین منظور ابتدا تصویر اثر انگشت به یک مقدار ثابت از لحاظ میانگین و انحراف معیار سطوح خاکستری نرمالیزه می‌شود. سپس نقطه قلب از تصویر استخراج می‌شود و در ادامه، بر روی تصویر اثر انگشت مجموعه فیلترهای گابور اعمال می‌گردد. معادله یک فیلتر گابور در حوزه مکان از نوع زوج به صورت زیر است

$$g(x', y', \theta, f) = \exp\left(-\frac{x'^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y'^2}{2\sigma_y^2}\right) \cos(2\pi f x') \quad (4)$$

اگر  $x$  و  $y$ ، مختصات یک نقطه از تصویر اثر انگشت باشند،  $x'$  و  $y'$  از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (5)$$

که در روابط فوق،  $\theta$  مقدار زاویه فیلتر گابور است و  $f$  فرکانس تکرار رگه‌های اثر انگشت می‌باشد.  $f$  برابر عکس فاصله متوسط دو رگه از رگه‌های موازی است. اعمال هر فیلتر گابور در هر جهت، سبب افزایش تمایز رگه‌ها در آن جهت شده و به‌علاوه باعث می‌شود پیوستگی رگه‌ها در جهت عمود افزایش یابد.

مجموعه فیلترهای گابور معمولاً شامل ۸ فیلتر در ۸ جهت است که جهت متناظر هر یک در فواصل مساوی، محدوده صفر تا ۱۸۰ درجه را می‌پوشانند.

در روش زیردسته‌بندی، هر کلاس خود به چندین زیرکلاس دسته‌بندی می‌شود تا محدوده جستجو بیش از پیش کاهش یابد. پیاده‌سازی روش مطمئن برای زیردسته‌بندی اثر انگشت بسیار مشکل‌تر از دسته‌بندی یک‌سطحی مبتنی بر ۵ کلاس Henry است [۱].

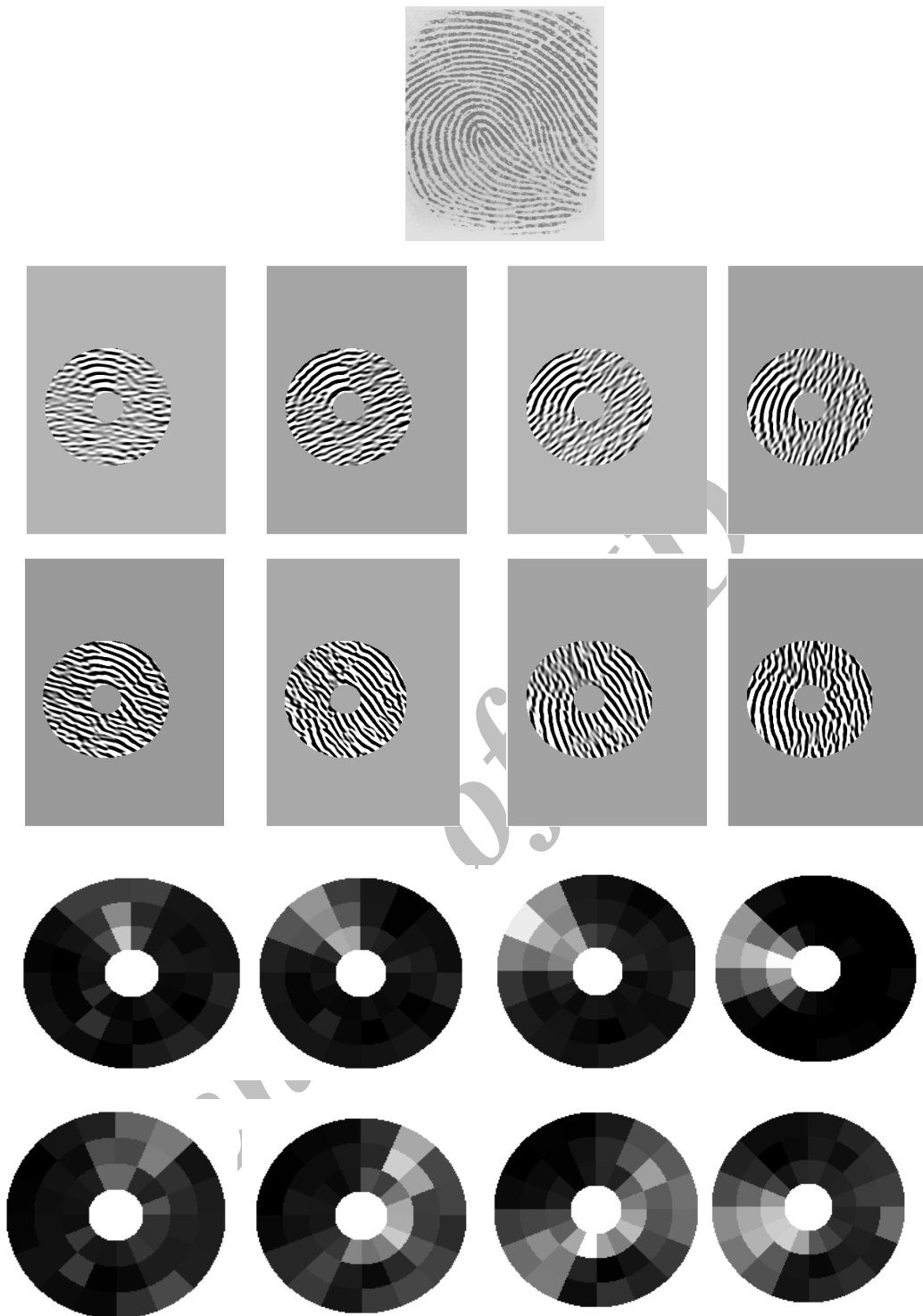
مشکلات ذاتی در پیاده‌سازی خودکار سیستم‌های اشاره‌شده در فوق، ما را به بررسی سیستم‌های دسته‌بندی متمایل می‌کند که مبتنی بر کلاس‌های تعریف‌شده توسط انسان (قابل رؤیت) نیست. یک راهبرد مناسب برای این منظور، دسته‌بندی پیوسته است. در دسته‌بندی پیوسته، تصاویر اثر انگشت به کلاس‌های جدا از یکدیگر تقسیم نمی‌شوند بلکه هر تصویر با یک بردار ویژگی در فضای چندبعدی نمایش داده می‌شود. این بردارها بوسیله تبدیل‌هایی که در آنها شباهت در نظر گرفته شده تعریف می‌شوند و لذا تصاویر اثر انگشت مشابه به بردارهای نزدیک به هم نگاشت می‌شوند و بازیابی اثر انگشت ورودی بوسیله تطابق آن با اثر انگشت‌هایی از پایگاه داده انجام می‌گیرد که بردار ویژگی آنها با بردار اثر انگشت ورودی نزدیک است. در این نوع دسته‌بندی، بازدهی سیستم و دقت دسته‌بندی را می‌توان بوسیله تعریف اندازه همسایگی تنظیم کرد.

بیشتر روش‌های مبتنی بر دسته‌بندی پیوسته از تصویر جهتی به عنوان ویژگی‌های ابتدایی استفاده می‌کنند [۱] و [۵]، ولی در تبدیلی که در محاسبه بردار ویژگی‌ها استفاده می‌شود و همچنین در اندازه‌گیری شباهت، متفاوت هستند. در مرجع [۶]، تصویر جهتی نسبت به نقطه قلب تنظیم می‌شود و با تلفیق سطرها، به یک بردار تبدیل می‌شود. سپس با تبدیل کاهش مرتبه  $KL$  اندازه بردار ویژگی کاهش یافته و بردار نهایی حاصل می‌شود. تبدیل  $KL$ ، با نگاشت اطلاعات به فضایی متناظر با مقادیر ویژه حداکثر، امکان کاهش ابعاد بردار ویژگی را فراهم می‌آورد. در این مرجع، اندازه‌گیری شباهت، به کمک یک روش پیشرفته مبتنی بر شاخص کیفیت تصویر، صورت گرفته است. این روش نیاز به وجود و آشکارسازی نقطه قلب دارد.

در مرجع [۷]، از کد انگشت<sup>۲</sup> و تصویر بلوک جهتی<sup>۳</sup> استفاده شده است. در این روشها تثبیت تصاویر برای استخراج ویژگی بر اساس آشکارسازی نقطه قلب صورت گرفته که ممکن است در تصویر اثر انگشت ورودی وجود نداشته باشد یا در جای مناسب نباشد. بدین ترتیب این روشها، همان‌طوریکه در مرجع [۷] اشاره شده است، مبتنی بر یک نگاه مجدد بر استخراج نقاط مرجع و در صورت لزوم تصحیح آن بوده است. در این راستا تعدادی از تصاویر اثر انگشت ورودی به دلیل ذکرشده از مرحله تست کنار گذاشته شده‌اند.

در مرجع [۸]، بردار لازم برای دسته‌بندی پیوسته بوسیله فاصله بردار ویژگی تصاویر در فضای  $MKL$ <sup>۴</sup> بدست آمده است. این روش بر اساس تعمیم روش  $KL$  است که در آن زیرفضاهای متعددی برای دسته‌بندی الگوها استفاده می‌شوند. به عبارت دیگر تبدیل  $KL$  یک منظره خاص از داده را ارائه می‌دهد ولی  $MKL$ ، مناظر متعددی از یک داده را ارائه می‌دهد. ایده روش فوق آن است که برای هر کلاس یک یا چند زیرفضای  $KL$ ، که برای مقایسه اثر انگشت‌های آن کلاس مناسب هستند تعریف شود. این زیرفضاها بر اساس معیار بهینه‌سازی تعریف می‌شوند که هدف از آن حداقل کردن تابع متوسط خطای بازسازی می‌باشد. تعداد

1. Karhunen-Loève Transform
2. Fingerprint
3. Block Orientation Field
4. Multi Space KL



شکل ۱: اعمال مجموعه فیلترهای گابور و استخراج ویژگی از خروجی فیلترها از قطاع‌های اطراف نقطه قلب.

دو اثر انگشت بیشتر است. کد انگشت در مشخص کردن یک اثر انگشت توانایی قابل ملاحظه‌ای دارد به گونه‌ای که کد انگشت به صورت مکملی برای ویژگی‌های مینوشیا در فرایند تأیید هویت و شناسایی استفاده می‌شود [۱].

کد انگشت، در اطراف نقطه قلب استخراج می‌شود. همان طوری که در شکل ۲ آمده، ممکن است این نقطه در ناحیه‌ای از تصویر اثر انگشت استخراج شده قرار داشته باشد که امکان استخراج ویژگی‌ها وجود ندارد یا اصلاً در تصویر اثر انگشت استخراج شده، نقطه قلب وجود نداشته باشد. به علاوه مقدار  $f$  یک مقدار متوسط است و در نقاط مختلف تصویر و برای اشخاص مختلف مقدار آن ممکن است اختلاف قابل ملاحظه داشته باشد.

به منظور استخراج ویژگی، خروجی ناشی از اعمال هر یک از ۸ فیلتر بدست آمده و دوایر متحدالمرکزی اطراف نقطه قلب روی خروجی‌های متناظر در نظر گرفته می‌شود و به قطاع‌هایی تقسیم می‌شوند و برای هر قطاع مقدار متوسط قدر مطلق انحراف از میانگین به عنوان ویژگی آن قطاع استخراج می‌شود. نهایتاً ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر فیلتر شده، بردار ویژگی را تشکیل می‌دهند. در شکل ۱ نتیجه اعمال ۸ فیلتر روی تصویر اثر انگشت اطراف نقطه قلب و ویژگی‌های استخراج شده آمده است.

برای تعیین میزان شباهت دو اثر انگشت، فاصله اقلیدسی کد انگشت متناظر آنها در نظر گرفته می‌شود. هر چه این فاصله کمتر باشد، شباهت



شکل ۳: یک اثر انگشت و تصویر بلوک جهتی مربوط به آن که بر روی تصویر اصلی رسم شده است.

مضربی از  $\pi/16$  هستند، چرخش یابند. بدین منظور تصویر جهتی را به اندازه مورد نظر می‌چرخانیم و سپس هر پیکسل آن را به اندازه زاویه چرخش تغییر می‌دهیم.

اگر مقدار  $\theta_k(x, y)$  یک پیکسل تصویر جهتی یک اثر انگشت در موقعیت  $(x, y)$  باشد که زاویه معادل آن از  $(\gamma)$  بدست می‌آید، آنگاه چنانچه بخواهیم تصویر جهتی را به اندازه  $\Delta\theta = (\Delta k)\pi/16$  بچرخانیم، حاصل مقدار  $\theta_{k'}(x', y')$  در موقعیت  $(x', y')$  است که از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\theta_{k'}(x', y') = \theta_k(x, y) + \Delta\theta \quad (8)$$

به طوری که  $k' = \text{Mod}(k + \Delta k, 16)$  که تابع Mod، باقیمانده  $k + \Delta k$  بر ۱۶ را نشان می‌دهد.

در مرحله بعد، تصویر جهتی چرخش یافته را به تصویر بلوک جهتی تبدیل می‌کنیم.

فرض شود  $f_q$ ، تصویر بلوک جهتی اثر انگشت  $q$  و  $f_{p, \Delta\theta_m}$  تصویر بلوک جهتی اثر انگشت  $p$  باشد که به اندازه  $\Delta\theta_m$  چرخیده شده باشد، در این صورت شباهت دو تصویر بلوک جهتی را به صورت زیر ارائه می‌دهیم

$$S'_{p, q, \Delta\theta_m} = \text{Max}_{x_1, y_1} \left( \sum_{x, y} \{ \delta [f_{p, \Delta\theta_m}(x + x_1, y + y_1) - f_q(x, y)] \} \right) \quad (9)$$

تابع  $\delta$ ، هنگامی یک می‌شود که آرگومان آن صفر باشد و در غیر این صورت صفر است. منظور از (۹)، آن است که برای بدست آوردن شباهت اثر انگشت  $p$  در حالتی که به اندازه  $\Delta\theta_m$  چرخیده باشد و اثر انگشت  $q$ :

الف) تصویر بلوک جهتی یکی را به اندازه‌های مختلف در راستاهای افقی و عمودی انتقال می‌دهیم.

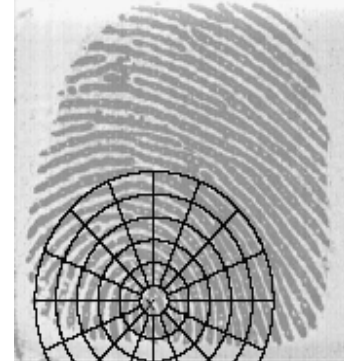
ب) در هر انتقال، تعداد بلوک‌های روی هم با جهت یکسان از دو تصویر بلوک جهتی را شمارش می‌کنیم.

ج) حداکثر تعداد بلوک‌های روی هم با جهت یکسان، شباهت دو تصویر بلوک جهتی را نشان می‌دهد.

در مجموع، دقت روش در راستاهای افقی و عمودی  $\pm w/2$  است که  $w \times w$ ، اندازه هر بلوک انتخاب شده از تصویر جهتی برای تشکیل تصویر بلوک جهتی است.

برای افزایش دقت روش مزبور برای محاسبه شباهت، ابتدا مقدار شباهت را نرمالیزه می‌کنیم

$$S'_{N, p, q, \Delta\theta_m} = \frac{S'_{p, q, \Delta\theta_m}}{N_{ov}} \quad (10)$$



شکل ۴: نمونه‌ای از تصویر اثر انگشت که در آن نقطه قلب در موقعیت مناسب قرار نگرفته است.

### ۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی مبتنی بر جهت رگه‌ها می‌باشد. در این روش به کمک تصویر بلوک جهتی، محدوده جستجو برای دستیابی به اثر انگشت مورد نظر بسیار کاهش می‌یابد. اگرچه استفاده انحصاری از جهت رگه‌ها برای شناسایی یکتای اثر انگشت کافی نیست [۱۱]، اما این روش می‌تواند برای شاخص‌سازی اثر انگشت و محدود کردن فضای جستجو مفید باشد. روش پیشنهادی بر یکسان بودن جهت در بلوک‌های متناظر در دو تصویر اثر انگشت استوار است. در روش ارائه شده ابتدا تصویر بلوک جهتی بدست می‌آید. تصویر بلوک جهتی تصویری است که در آن جهت غالب رگه‌ها در هر بلوک مربعی از تصویر اثر انگشت آمده است. نمونه‌ای از این تصویر در شکل ۳ به همراه اثر انگشت مربوطه آمده است. برای ایجاد تصویر بلوک جهتی ابتدا باید تصویر جهتی اثر انگشت بدست آید. تصویر جهتی تصویری است که جهت هر پیکسل از اثر انگشت را نشان می‌دهد. بدین منظور از روش ارائه شده در [۱۲] برای محاسبه تصویر جهتی استفاده شده است. مقدار هر پیکسل از تصویر جهتی که بیانگر جهت پیکسل متناظر در تصویر اصلی است از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\theta(i, j) = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{\sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2G_x(u, v)G_y(u, v)}{\sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} (G_x(u, v)^2 - G_y(u, v)^2)} \right) \quad (6)$$

که در (۶)،  $G_x(u, v)$  و  $G_y(u, v)$ ، به ترتیب گرادیان تصویر اصلی در راستاهای  $x$  و  $y$  است که در این تحقیق به روش Sobel بدست آمده است. سپس هر زاویه به نزدیکترین زاویه (جهت) اصلی تبدیل می‌شود. جهت‌های اصلی در این تحقیق، ۱۶ جهت هستند که از رابطه زیر بدست می‌آیند

$$\theta_i = (i-1) \frac{\pi}{16} \quad i = 1, 2, \dots, 16 \quad (7)$$

لذا هر دو جهت متوالی به اندازه  $11,25^\circ$  ( $\pi/16 = 11,25^\circ$ ) اختلاف دارند و هر جهت  $\theta_i$ ، محدوده جهتی  $\theta_i \pm \pi/32$  را می‌پوشاند.

برای تشکیل تصویر بلوک جهتی، تصویر جهتی را به بلوک‌های مربعی شکل تقسیم کرده و جهت غالب برای رگه‌ها در هر بلوک، جهت آن بلوک را تشکیل می‌دهد [۱۳] و [۱۴].

در این روش لازم است تصویر بلوک جهتی با اندازه‌های مشخص که

$$\Delta\theta_m \in \left\{ \frac{m\pi}{16} \mid m = -n, -n+1, \dots, n-1, n \right\} \quad (16)$$

در این صورت، در محاسبه شباهت، چرخش تصاویر نسبت به یکدیگر، تا  $\pm n\pi/16$  در نظر گرفته شده است. دقت در راستاهای افقی و عمودی برابر  $\pm w/4$  بوده و دقت مربوط به زاویه چرخش برابر  $\pm \pi/32 = \pm 5,625^\circ$  می باشد.

مساله بایاس شدن برای بدست آوردن شباهت برای هر یک از حالت های انتقال مبدأ مختصات در تصویر بلوک جهتی را می توان برای (۱۵) که شامل چرخش های مختلف است نیز تعمیم داد. یعنی میزان جابجایی در راستاهای افقی و عمودی برای بدست آوردن  $S_{N_{p,q,\Delta\theta_m}}$  حول مقادیر متناظر برای محاسبه  $S_{N_{p,q,\Delta\theta_{m-1}}}$  بایاس می شود و این نکته باعث افزایش قابل ملاحظه سرعت می گردد.

تا بدین مرحله، شباهت را منحصراً با توجه به یکی بودن جهت در بلوک های روی هم تصویر بلوک جهتی در نظر گرفته ایم. اکنون در نظر است که مشابهت ناشی از کمبود اختلاف در بلوک های روی هم و غیر مشابه از لحاظ جهت نیز لحاظ گردد. بدین منظور تفاضل مقادیر جهت را در نقطه  $(x, y)$  به صورت زیر تعریف می کنیم

$$D(\theta_k(x, y), \theta_j(x, y)) = \text{Min} \left\{ |k - j| \frac{\pi}{16}, (16 - |k - j|) \frac{\pi}{16} \right\} \quad (17)$$

مفهوم رابطه فوق آن است که برای بدست آوردن اختلاف زاویه مربوط به دو بلوک که در موقعیت  $(x, y)$  قرار دارند، چنانچه اختلاف زاویه بیش از ۹۰ درجه باشد، مقدار آن از ۱۸۰ درجه کم می شود تا تفاضل زاویه بدست می آید. بدین ترتیب اختلاف زاویه همواره بین صفر تا ۹۰ درجه محدود می شود. در این صورت تعریف می کنیم

$$d_{N_{p,q}} = \frac{\sum_{x,y} D(\theta_k(x, y), \theta_j(x, y)) \Big|_{b(x,y)=}}{N_d} \quad (18)$$

جایی که

$$N_d = \frac{\pi}{\gamma} (N_{ov} - \sum_{x,y} \mathbf{b}(x, y)) \quad (19)$$

در (۱۸)، ماتریس  $\mathbf{b}$  مربوط به مقادیری از جابجایی افقی و عمودی و چرخش است که به کمک آن شباهت از (۱۵) بدست می آید و شرط  $\mathbf{b}(x, y) = 0$  نیز مربوط به بلوک های روی هم و با جهت های غیر مشابه است. به علاوه مقدار  $N_d$ ، برای نرمالیزه کردن فاصله در بلوک های روی هم و با جهت های غیر مشابه در نظر گرفته شده است. در این صورت معیار دیگری برای مشابهت به صورت زیر تعریف می کنیم

$$S_{p,q} = \alpha S_{N_{p,q}} + (1 - \alpha)(1 - d_{N_{p,q}}) \quad (20)$$

که در رابطه فوق،  $\alpha$ ، ضریب ادغام بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل ترکیب شامل بلوک های مشابه (ضریب  $\alpha$  و مقدار  $S_{N_{p,q}}$ ) و اختلاف بلوک های غیر مشابه (ضریب  $1 - \alpha$  و مقدار  $1 - d_{N_{p,q}}$ ) را نشان می دهد.

برای مشابهت اثر انگشت ورودی نسبت به کل پایگاه داده، مشابهت تصویر بلوک جهتی اثر انگشت  $p$  ورودی را مطابق روش توضیح داده شده با کل تصاویر بلوک جهتی مربوط به اثرهای انگشت موجود در پایگاه داده بدست می آوریم و در مرحله بعد می توان تصاویر اثر انگشت موجود در پایگاه داده را از حیث مشابهت با اثر انگشت ورودی مرتب کرد و در

که  $N_{ov}$  مقدار سطح مشترک (روی هم) دو تصویر به ازای مقداری از انتقال است که  $S'_{p,q,\Delta\theta_m}$  بدست می آید.

در قدم بعدی، برای افزایش دقت در محاسبه شباهت، تصویر بلوک جهتی را از تصویر جهتی بدست می آوریم که مبدأ مختصات را به اندازه  $w/2$  در راستاهای افقی و عمودی انتقال داده باشیم و در مجموع چهار تصویر بلوک جهتی (شامل حالت بدون انتقال و حالت انتقال مبدأ در راستاهای افقی یا عمودی یا هر دو) بدست آوریم. شباهت را در هر یک از حالت های مذکور،  $S'_{N_{p,q,\Delta\theta_m,i}}$  می نامیم که  $i$  نشان دهنده هر یک از حالت های انتقال مبدأ در راستاهای افقی و عمودی مربوط به تشکیل تصویر بلوک جهتی اثر انگشت  $p$  است و تصویر بلوک جهتی متناظر هر حالت را برای اثر انگشت  $p$  برابر  $f_{p,\Delta\theta_m,i}$  تعریف می کنیم. نهایتاً رابطه بهبود یافته ای برای محاسبه شباهت به صورت زیر ارائه می کنیم

$$S'_{N_{p,q,\Delta\theta_m}} = \text{Max}_i (S'_{N_{p,q,\Delta\theta_m,i}}) \quad (11)$$

توجه کنیم که برای محاسبه  $S'_{N_{p,q,\Delta\theta_m,i}}$  باید هر یک از تصاویر بلوک جهتی انتقال یافته را در راستاهای افقی و عمودی جابجا کنیم. از طرف دیگر، میزان جابجایی افقی و عمودی برای هر حالت  $i$ ، به مقدار اندکی نسبت به حالت های دیگر تفاوت دارد و این نکته سبب می شود که تشکیل این تصاویر و در نظر گرفتن آنها برای شباهت، تأثیر اندکی روی سرعت محاسبه شباهت داشته باشد. این به آن مفهوم است که کافی است برای نخستین حالت که مربوط به حالت بدون انتقال مبدأ مختصات می شود میزان جابجایی در راستاهای افقی و عمودی تصویر بلوک جهتی برای محاسبه تابع شباهت را بیابیم و برای حالت های دیگر، میزان جابجایی اندکی نسبت به مقادیر بدست آمده در مرحله قبل تفاوت دارد یعنی جابجایی در حالت های دیگر نسبت به حالت نخستین، بایاس می شود.

به منظور بهبود معیار شباهت تعریف شده در (۹)، اگر ناحیه مشترک مربوط به دو تصویر بلوک جهتی در نظر بگیریم که به کمک آن بدست آمده است و یک ماتریس به نام  $\mathbf{b}'$  با ابعاد ناحیه مذکور تعریف می کنیم طوری که مقادیر آن در نقاط با جهت یکسان برابر یک بوده و در سایر نقاط برابر صفر باشد. در این صورت به منظور افزایش شباهت دو تصویری که کاملاً مشابهند و کاهش شباهت دو تصویری که مشابه نیستند تعریف می کنیم

$$\mathbf{b}(x, y) = \begin{cases} 1 & \sum_{x_1, y_1 \in \{-1, 0, 1\}} \mathbf{b}'(x - x_1, y - y_1) \geq 5 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

در این صورت رابطه بهبود یافته شباهت را به صورت زیر تعریف می کنیم

$$S_{N_{p,q,\Delta\theta_m}} = \frac{\sum_{x,y} \mathbf{b}(x, y)}{N_{ov}} \quad (13)$$

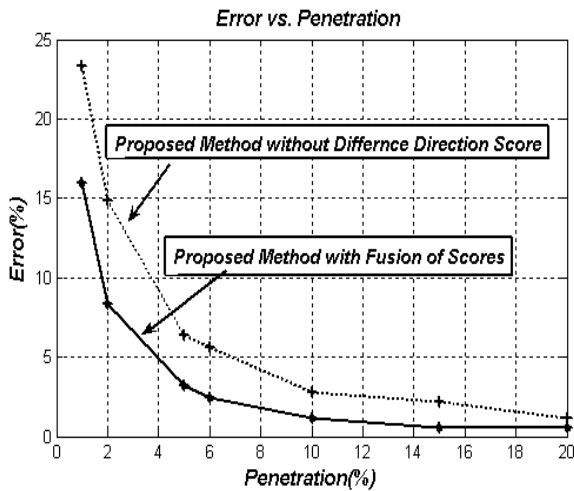
جایی که

$$N_{ov} = \frac{S'_{p,q,\Delta\theta_m}}{S'_{N_{p,q,\Delta\theta_m}}} \quad (14)$$

نهایتاً شباهت دو تصویر بلوک جهتی از رابطه زیر بدست می آید

$$S_{N_{p,q}} = \text{Max}_{\Delta\theta_m} (S_{N_{p,q,\Delta\theta_m}}) \quad (15)$$

جایی که

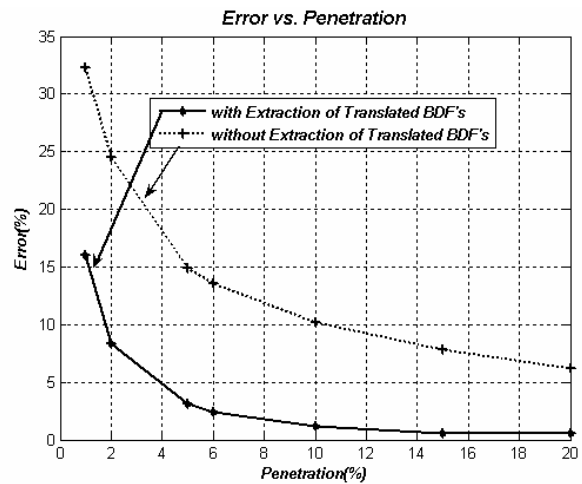


شکل ۳: مقایسه منحنی خطا بر حسب ضریب نفوذ مبتنی بر بلوک‌های مشابه (۱۵) و مبتنی بر ادغام (۲۰).

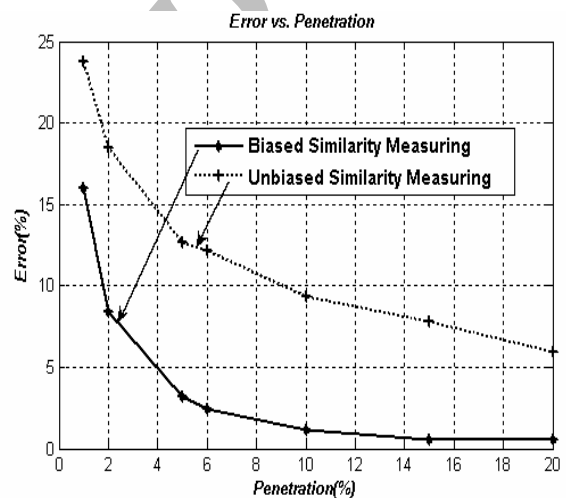
در این تحقیق، پایگاه داده شامل تصویر بلوک جهتی هر اثر انگشت است و نمونه‌های چرخش یافته و انتقال مبدأ یافته تصویر بلوک جهتی که برای محاسبه تابع شباهت لازم است از تصویر ورودی استخراج می‌شود. همچنین برای دسته‌بندی تصاویر اثر انگشت، مشابهت هر اثر انگشت ورودی با هر یک ۱۰۰ اثر انگشت موجود در پایگاه داده محاسبه شده و کلیه اثرهای انگشت پایگاه داده از حیث مشابهت با اثر انگشت ورودی رتبه‌بندی می‌شوند. تطابق ابتدا با تصویری از پایگاه داده صورت می‌گیرد که بیشترین مشابهت را داشته باشد. در صورتی که تطابق حاصل شد اثر انگشت بازیابی می‌شود و در غیر اینصورت این عمل تا شعاعی که بوسیله مقدار ضریب نفوذ مشخص می‌شود و به ترتیب تشابه، ادامه می‌یابد. مقدار خطا با توجه به مقدار ضریب نفوذ تعریف می‌شود و اثر انگشت‌های ورودی که تصویر منطبق آنها در خارج محدوده تعریف شده به وسیله ضریب نفوذ (بر اساس مرتب‌کردن با معیار شباهت) قرار می‌گیرند، ایجادکننده خطا هستند.

در شکل ۴، تأثیر انتقال مبدأ و استخراج تصاویر بلوک جهتی از تصویر جهتی نشان داده شده است. در نظر گرفتن انتقال‌های افقی و عمودی مبدأ برای استخراج تصاویر بلوک جهتی و محاسبه شباهت با استفاده از (۱۱) نسبت به روش بدون انتقال و استفاده منفرد از (۹)، باعث کاهش قابل ملاحظه خطا شده است. مقدار متوسطی از پایگاه داده که باید جستجو شود تا اثر انگشت منطبق پیدا شود، میانگین نفوذ نامیده می‌شود. این مقدار برای حالت بدون انتقال ۴۶۷٪ می‌باشد در حالی که برای حالت با انتقال‌های افقی و عمودی، این مقدار ۱/۷۲٪ است. در شکل ۵، اثر بایاس کردن میزان انتقال در هر چرخش ( $\Delta\theta_m$ ) نسبت به چرخش قبلی ( $\Delta\theta_{m-1}$ )، نشان داده شده است. در این پیاده‌سازی، محدوده انتقال برای محاسبه شباهت در نخستین چرخش، بزرگ در نظر گرفته شده ولی برای بقیه چرخش‌ها، کوچک، لحاظ شده است. این منحنی‌ها مؤثر بودن بایاس انتقال را در کاهش میزان خطا نشان می‌دهد. میانگین نفوذ در حالت بدون بایاس ۴/۸۴٪ و در حالت با بایاس مقدار ۱/۷۲٪ است.

در شکل ۶ منحنی خطا بر حسب ضریب نفوذ برای دو حالت، یکی مبتنی بر (۱۵) و استفاده از شباهت در بلوک‌های مشابه، و دیگری، روش مبتنی بر ادغام شباهت‌ها مطابق با (۲۰) است. به طور واضح، روش مبتنی بر ادغام نتیجه بهتری بدست داده است، طوری که میانگین نفوذ بر اساس (۱۵)، ۲/۳۷٪ است ولی میانگین نفوذ مبتنی بر ترکیب شباهت‌ها با



شکل ۴: منحنی خطا بر حسب ضریب نفوذ برای حالت انتقال مبدأ برای استخراج تصاویر بلوک جهتی نسبت به حالت بدون انتقال.



شکل ۵: منحنی خطا بر حسب ضریب نفوذ برای حالت انتقال بدون بایاس نسبت به حالت انتقال با بایاس.

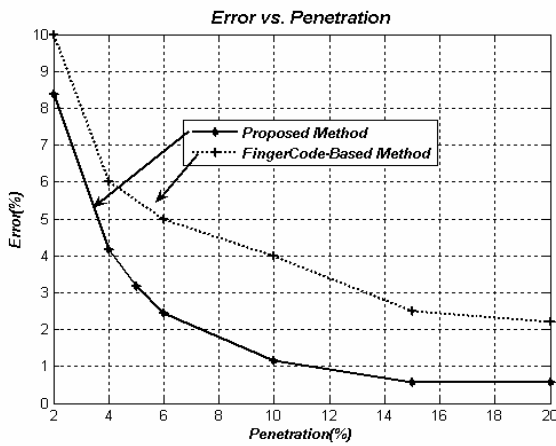
مرحله تطبیق، ابتدا تصویری از پایگاه داده انتخاب می‌شود که بیشترین شباهت را با اثر انگشت ورودی داشته باشد. مرحله تطبیق معمولاً به کمک ویژگی‌های جزئی مینوشیا انجام می‌گیرد.

#### ۴- پیاده‌سازی روش و مقایسه نتایج

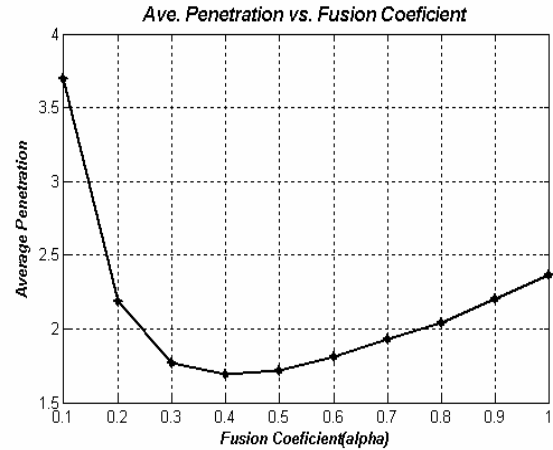
برای انجام آزمایش، از داده‌های استاندارد DB۲\_۰۰۰ FVC۲ استفاده شده است [۱۵]. این تصاویر اثر انگشت با اندازه  $364 \times 286$  و با اسکنر خازنی، اسکن شده‌اند. این تصاویر از ۱۰۰ اثر انگشت هستند و هر اثر انگشت شامل ۸ تصویر است. در مجموع ۸۰۰ تصویر برای ارزیابی روش داشته‌ایم.

تصویر بلوک جهتی در بلوک‌های  $16 \times 16$  از تصویر اثر انگشت استخراج شده‌اند. برای انجام آزمایش، یک تصویر از ۸ تصویر هر اثر انگشت انتخاب شده و تصویر بلوک جهتی آن استخراج گردیده و در پایگاه داده نگهداری می‌شود. ۷ تصویر باقی‌مانده از هر اثر انگشت در ایجاد ۷۰۰ تصویر تست ناشی از ۱۰۰ اثر انگشت استفاده شده‌اند.

تصویر بلوک جهتی اثر انگشت تنها در ناحیه نقش اثر انگشت استخراج شده است. بدین ترتیب که قبل از استخراج تصویر جهتی، ناحیه نقش اثر انگشت از ناحیه پیش‌زمینه جدا شده است. همچنین در (۱۶)،  $n=2$ ، در نظر گرفته شده است. یعنی چرخش تصاویر نسبت به یکدیگر، تا زاویه  $\pm 22.5^\circ$  منظور گردیده است.



شکل ۸: مقایسه نمودارهای خطا بر حسب ضریب نفوذ برای روش پیشنهادی و روش مبتنی بر کد انگشت.



شکل ۷: منحنی تغییرات متوسط نفوذ بر حسب ضریب ادغام ( $\alpha$ ).

جدول ۱: تغییرات مقدار خطا بر حسب ضریب ادغام ( $\alpha$ ) در شعاع نفوذ برابر ۲

$\alpha$	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۳	۰٫۴	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۹
خطا (%)	۳۴٫۹	۱۳٫۶	۹٫۷	۸٫۳۶	۸٫۳۶	۸٫۹۵	۱۰٫۹۷	۱۲٫۲۶	۱۲٫۵۶

جدول ۲: مقایسه روش پیشنهادی با روش کد انگشت

روش	مقدار ویژگی (بایت)	زمان (استخراج ویژگی + محاسبه شباهت)	میانگین نفوذ (%)
پیشنهادی	۱۷۶	۳٫۴ Sec.	۱٫۷۲
کد انگشت	۳۸۴	۳٫۷ Sec.	۲٫۴

است. برای پیاده‌سازی هر دو روش از یک کامپیوتر پنتیوم ۴، ۲ گیگاهرتز و نرم‌افزار MATLAB 7.0، استفاده شده است و زمان‌ها در جدول (۲) بر این اساس گزارش شده‌اند و منظور از زمان محاسبه شباهت، شباهت تصویر ورودی با کلیه تصاویر موجود در پایگاه داده (۱۰۰ تصویر) است. سرعت روش پیشنهادی، در مقایسه با روش کد انگشت، بیشتر است. از طرف دیگر، تعداد ویژگی‌های استخراج شده از هر اثر انگشت قابل توجه است. با توجه به اندازه هر تصویر که  $۳۶۴ \times ۲۵۶$  بوده و بلوک‌های  $۱۶ \times ۱۶$  برای تصویر جهتی، در مجموع ۳۵۲ ویژگی استخراج شده است. چون هر ویژگی شامل یکی از جهت‌های ۱ تا ۱۶ است، تنها نیم‌بایت را اشغال می‌کند و در کل ۱۷۶ بایت ویژگی به عنوان اطلاعات هر اثر انگشت در پایگاه داده نگهداری می‌شود. این مقدار حافظه حداکثر مقدار حافظه لازم برای نگهداری ویژگی‌های جهتی است. علت آن است که نواحی از تصویر اثر انگشت که شامل ناحیه نقش نیستند حجم حافظه لازم را کاهش می‌دهند. به علاوه به کمک روشهایی مانند کد کردن کانتور می‌توان حجم حافظه را کم کرد.

### ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در مجموع، روش فوق با دقت  $\pm ۵/۶۲۵^\circ$  برای زاویه، شباهت دو تصویر اثر انگشت را از لحاظ جهت ارائه می‌دهد و نیازی به آشکارسازی نقطه قلب ندارد. به نظر می‌رسد الگوریتم پیشنهادی، در مقابل تغییر شکل غیر خطی و نویز مقاوم است. زیرا، از یک طرف، این فرایند بر جهت رگه‌ها به صورت بلوکی استوار است و از طرف دیگر، تغییرات اندک در جهت رگه‌ها باعث ایجاد بلوک‌های با اختلاف جهت کوچک می‌شود و این عامل در درجه شباهت ناشی از بلوک‌های روی هم غیر مشابه مربوط به دو اثر انگشت، تأثیر مثبتی خواهد داشت. نتایج پیاده‌سازی روش، بهبود ۱۰ برابر در کاهش فضای جستجو را با خطای ۱٪ نشان می‌دهد. فرایند

مقدار  $\alpha = 0.5$ ، برابر  $1/72$  بدست آمده است. در شکل ۷، اثر ضریب  $\alpha$  در (۲۰) بر روی میانگین نفوذ رسم شده است. برای مقدار  $0.4 \leq \alpha \leq 0.5$ ، بهترین مقدار میانگین نفوذ بدست می‌آید. این بدان معنی است که بهترین حالت برای مقدار میانگین نفوذ مربوط به حالتی است که اثر بلوک‌های با جهت یکسان و اثر بلوک‌های با جهت غیر یکسان تقریباً به یک اندازه در محاسبه شباهت در نظر گرفته شود. در جدول ۱، مقدار خطای دسته‌بندی در شعاع نفوذ برابر ۲ به ازای مقادیر مختلف  $\alpha$  آمده است.

به منظور مقایسه روش پیشنهادی با کد انگشت، ابتدا نقطه قلب استخراج شده است. برای استخراج نقطه قلب از روش مرجع [۱۲] استفاده شده است و بالاترین نقطه قلب استخراج شده در ناحیه نقش اثر انگشت به عنوان مرکز برای دوایر متحدالمرکز انتخاب گردیده است. چون احتمال خطا در استخراج نقاط قلب وجود داشته، همه نقاط استخراج شده به عنوان نقطه قلب، به صورت دستی مورد بازبینی قرار گرفته‌اند و تعدادی از آنها تصحیح شده‌اند. حدود ۱٪ تصاویر تست دارای نقطه قلب در موقعیت مناسب نبوده و لذا کنار گذاشته شده‌اند. در (۴) مقدار  $f = 0.1$  و  $\sigma_x = \sigma_y = 4$  و اندازه فیلترهای گابور نیز،  $33 \times 33$ ، در نظر گرفته شده است. همچنین طول هر قطاع در راستای شعاعی برابر ۲۰ پیکسل و با توجه به شکل ۱ و انتخاب ۱۶ قطاع در هر دایره و ۴۸ ویژگی برای هر جهت فیلتر گابور، ۳۸۴ ویژگی استخراج شده است. در شکل ۸ نمودار خطا بر حسب ضریب نفوذ برای روش پیشنهادی و روش مبتنی بر کد انگشت مقایسه شده است. این نمودار قابلیت روش پیشنهادی را در کاهش مقدار خطا در مقایسه با روش کد انگشت، نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی، در ضریب نفوذ ۰٫۱ مقدار خطا تقریباً ۱٪ است یعنی روش پیشنهادی می‌تواند با خطای ۱٪ محدوده جستجو را ۱۰ برابر کاهش دهد. در جدول ۲ خصوصیت‌های روش پیشنهادی در مقایسه با روش کد انگشت آمده

- [9] B. Bhanu and X. Tan, "Fingerprint indexing based on novel features of minutiae triplets," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 5, pp. 402-421, May 2003.
- [10] A. K. Jain, S. Probhakar, L. Hong, and S. Pankanti, "Filter bank-based fingerprint matching," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 5, pp. 846-859, 2000.
- [۱۱] ص. هل فروش و ج. قاسمیان، "تشخیص غیر حساس به چرخش اثر انگشت به کمک تصویر بلوک چیتی"، مجموعه مقالات سیزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، *JCEE ۲۰۰۵*، جلد اول، صفحه ۱۹۸-۲۰۲، اردیبهشت ۱۳۸۴.
- [12] A. M. Bazen and S. H. Gerez, "Systematic methods for the computation of the directional fields and singular points of fingerprints," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 7, pp. 905-919, Jul. 2002.
- [13] Y. He, J. Tian, X. Luo, and T. Zhang, "Image enhancement and minutiae matching in fingerprint verification," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, no. 9, pp. 1349-1360, Jun. 2003.
- [14] H. Ghassemian, "A robust on-line restoration Algorithm for fingerprint segmentation," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 181-184, Sep. 1996.
- [15] D. Maio, A. K. Jain, "FVC2000: fingerprint verification competition," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 3, pp. 402-412, Mar. 2002.

**صادق هل فروش** کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در مهندسی الکترونیک به ترتیب از دانشگاه شیراز و دانشگاه صنعتی شریف در سالهای ۱۳۷۲ و ۱۳۷۴ دریافت کرد. او اکنون در مقطع دکترای مهندسی مخابرات گرایش سیستم دانشگاه تربیت مدرس مشغول تحصیل است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه او شناسایی الگو با تأکید بر سیستم‌های بیومتریک و پردازش تصویر است.

**حسن قاسمیان یزدی** تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی مخابرات از دانشکده مخابرات در سال ۱۳۵۹ به پایان رساند. از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۶۲ در مرکز تحقیقات مخابرات مشغول تحصیل بود. وی در سالهای ۱۳۶۳ و ۱۳۶۷ مدرک کارشناسی ارشد و دکترای خود را از دانشگاه Purdue آمریکا دریافت کرد. وی هم‌اکنون استاد بخش مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس است. برخی از زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش و تحلیل تصاویر چندمنبعی، شناسایی الگو و پردازش اطلاعات، مهندسی سیستم‌های سنجش از دور، پردازش سیگنال‌ها و تصاویر پزشکی.

پیشنهادی، در مقایسه با کد انگشت نتایج بهتری بدست داده است. با توجه به آنکه کد انگشت یک ابزار قدرتمند در تطابق اثر انگشت است، این روش نیز می‌تواند به عنوان یک عامل در فرایند تأیید هویت و شناسایی در کنار عوامل دیگر استفاده شود به ویژه آنکه بدون نیاز به نقاط مشخص مانند مینوشیا یا قلب، عمل تثبیت را انجام می‌دهد. با بررسی مواردی که فرایند پیشنهادی نتیجه مطلوبی بدست نداده است، معلوم می‌شود که الگوریتم پیشنهادی برای تصاویری که از لحاظ جهت رگه‌ها کیفیت پایینی دارند، اعداد مناسبی را برای شباهت بدست نمی‌دهد. بنابراین بهتر است یک مرحله بهبود جهت رگه‌ها در ابتدای مرحله استخراج ویژگی در نظر گرفته شود.

## مراجع

- [1] D. Maltoni, D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar, *Hand Book of Fingerprint Recognition*, Springer, New York, pp. 173-202, 2003.
- [2] H. Ghassemian, "An automatic fingerprint classification algorithm," *Esteghlal J. of Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 1-11, Sep. 1999.
- [3] J. Qi, S. Young, and Y. Wang, "Fingerprint matching combining the global orientation field with minutia," *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, no. 15, pp. 2424-2430, 2005.
- [4] N. Yager and A. Amin, "Evaluation of fingerprint orientation field registration algorithms," in *Proc. 17th Int. Conf. on Pattern Recognition ICPR 04*, pp. 721-724, 2004.
- [5] H. Ghassemian, "A robust structural fingerprint restoration," *International J. of Engineering*, vol. 10, no. 14, pp. 182-190, Nov. 1997.
- [6] T. Kamei and M. Mizoguchi, "Fingerprint preselection using eigen features," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 918-923, 1998.
- [7] J. D. Boer, A. M. Bazen, and S. H. Gerez, "Indexing fingerprint databases based on multiple features," in *Proc. Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing ProRISC 2001*, pp. 300-306, 2001.
- [8] R. Cappeli, D. Maio, and D. Maltoni, "Combining fingerprint classifiers," in *Proc. 1st Int. Workshop on Multiple Classifier Systems*, pp. 351-361, 2000.