

## بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت با استفاده از فیلتر بانک کمانی گابور

مهران تقی پور گرجی کلایی<sup>۱</sup>، سیدمحمد رضوی<sup>۲</sup> و ناصر مهرشاد<sup>۳</sup>

### چکیده

تأیید و شناسایی هویت از روی تصویر اثر انگشت ارتباط مستقیمی با کیفیت این تصویر دارد. در این مقاله روش جدیدی برای بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت با استفاده از فیلتر بانک کمانی گابور ارائه شده است. فیلتر بانک کمانی گابور در حقیقت نوعی فیلتر بانک گابور استاندارد متبخر شده برای استفاده روی تصاویر اثر انگشت می باشد. ارزیابی میزان توفیق روش در بهبود کیفیت تصاویر اثر انگشت به دو روش انجام شده است. در روش اول، مقایسه بین تصاویر اصلی و تصاویر بهبود یافته بر اساس نتایج بدست آمده از ارزیابی تأیید و شناسایی هویت صورت پذیرفته است که سیستم تشخیص هویت پیشنهادی مبتنی بر معیار همبستگی هیستوگرام نرمالیزه شده ویژگی های تصویر آماری باینری شده (BSIF) است. در روش دوم، از معیار نسبت سیگنال به نویز بیشینه (PSNR) به منظور ارزیابی میزان بهبود کیفیت، استفاده شده است. دو پایگاه داده DBII و DBI برای اجرای روش و ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته اند. نرخ تساوی خطای (EER) تأیید هویت برای تصاویر اصلی از (به ترتیب ۱۵/۸۹٪ و ۱۱/۷۰٪) به (۱۱/۳۵٪ و ۸/۰۰٪) برای تصاویر بهبود یافته کاهش یافته است. برای تشخیص هویت نیز نرخ مرتبه اول میزان بازشناسی صحیح برای تصاویر اصلی از مقادیر (۶۹/۲۸٪ و ۷۱/۱۶٪) به (۷۸/۸۰٪ و ۸۱/۷۰٪) برای تصاویر بهبود یافته افزایش یافته است. میزان متوسط PSNR مربوط به تصاویر بهبود یافته نیز از مورد مشابه برای تصاویر اصلی بیشتر است.

### کلید واژه ها:

اثر انگشت، بهبود کیفیت تصویر، فیلتر بانک کمانی گابور

منحنی شکل منحصر به فرد برای یک شخص (حتی بین دو قلوهای همسان) هستند که با دره ها یا شیارهایی از یکدیگر جدا شده اند. کیفیت تصویر اثر انگشت تأثیر فراوانی بر روی عملکرد سیستم های تأیید/شناسایی هویت دارد، لذا تلاش های فراوانی تاکنون در جهت بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت صورت پذیرفته است [۵ و ۴]. به صورت کلی روش های موجود را می توان به دو گروه عمده حوزه مکان [۶-۸] و حوزه فرکانس [۹-۱۱] تقسیم بندی نمود.

در حوزه فرکانس، ضرایب تبدیل فوریه تناوب تغییرات روشنایی، الگوهای تغییر جهت ها و تغییرات دامنه شکل موج هایی که بیانگر الگوها می باشند را نشان می دهد [۱۳]. برای مثال در [۲۳] از تبدیل فوریه زمان کوتاه<sup>۱</sup> استفاده شده است. الگوریتم مبتنی بر

### ۱- مقدمه

استفاده از تصاویر اثر انگشت یکی از قدیمی ترین و قابل اعتمادترین روش های موجود برای تأیید هویت می باشد. دسترسی آسان به این زیست سنج و امکان استخراج ویژگی های منحصر به فرد برای افراد، این زیست سنج را از سایر زیست سنج ها متمایز کرده است [۳-۱]. اثر انگشت الگویی از خطوط با ساختار

این مقاله در مردادماه ۱۳۹۴ دریافت، در دیماه آن سال بازنگری و در همان ماه پذیرفته شد.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بیرجند.

رایانامه: [mtaghypour@birjand.ac.ir](mailto:mtaghypour@birjand.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند.

رایانامه: [smrazavi@birjand.ac.ir](mailto:smrazavi@birjand.ac.ir)

<sup>۳</sup> دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند.

رایانامه: [nmehrshad@birjand.ac.ir](mailto:nmehrshad@birjand.ac.ir)

<sup>1</sup>STFT: Short Time Fourier Transform

نتایج بدست آمده از ارزیابی تأیید و شناسایی هویت صورت پذیرفته است که سیستم تشخیص هویت پیشنهادی مبتنی بر معیار همبستگی هیستوگرام نرمالیزه شده ویژگی‌های تصویر آماری باینری شده (BSIF) است. در روش دوم، از معیار نسبت سیگنال به نویز بیشینه (PSNR) به منظور ارزیابی میزان بهبود کیفیت، استفاده شده است. دو پایگاه داده DBI و DBII برای اجرای روش و ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در بسیاری از مقاله‌های حوزه زیست‌سنجه به منظور انطباق دو اثر انگشت از روش‌های پیچیده‌ای برای استخراج ویژگی، مقایسه بردارهای ویژگی و تصمیم‌گیری استفاده شده است [۱-۲]. به صورت کلی روش‌های مطرح شده برای انطباق دو اثر انگشت را می‌توان به دو گروه عمده مبتنی بر ویژگی مینوشیا و مبتنی بر بافت تقسیم‌بندی نمود. انطباق مبتنی بر ویژگی مینوشیا را می‌توان به دو گروه سراسری و محلی (جزئی) تقسیم نمود [۲]. با وجود نقاط قوت فراوانی که انطباق مبتنی بر مینوشیا دارد، اما یک اثر انگشت با کیفیت دارای ۶۰ الی ۸۰ ویژگی مینوشیا است که این عدد در تصاویر مختلف از همان اثر انگشت متفاوت است، از سویی استخراج مینوشیا در تصاویر با کیفیت پایین قابلیت اطمینان کمی دارد. در بسیاری از موارد که کیفیت تصاویر استخراج شده از اثر انگشت پایین است و یا به دلیلی برخی از قسمت‌های تصویر حذف شده‌اند، امکان استخراج ویژگی‌های مینوشیا به تعداد مورد نیاز برای بیشینه انطباق وجود ندارد. لذا در چنین مواردی یا نیاز به عملیات پیش‌پردازشی مانند بهبود کیفیت تصویر است و یا این که از روش‌های مبتنی بر بافت استفاده می‌شود. تاکنون روش‌های متعددی برای توصیف بافت اثر انگشت و استخراج ویژگی از آن مطرح شده است [۴ و ۱۸]. الگوهای باینری محلی ثابت (LBP) [۱۷]، گرادیان هیستوگرام (HoG)، الگوهای جهت‌دار محلی (LDP) از جمله این توصیف‌گرها هستند. ویژگی‌های تصویر آماری باینری شده (BSIF) یکی از توصیف‌گرهایی است که می‌تواند به صورت همزمان ویژگی‌های سطوح اول و سوم استخراج کند [۱۹].

روش پیشنهادی برای بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت نقاط ضعفی دارد که در کارهای آتی بدنال رفع آنها خواهیم بود، از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- روش پیشنهادی منطبق بر فرکانس‌های محلی نبوده و تمام اثر انگشت را با یک فرکانس روبش می‌کند.
- باز ترکیب پاسخ‌های فیلتر پیشنهادی با وزن یکسان صورت می‌پذیرد که این امر می‌تواند منجر به تأثیر گذاری پاسخ‌های نامطلوب در تصویر نهایی شود.

STFT می‌تواند ویژگی‌های ذاتی اثر انگشت مانند جهت لبه محلی و جهت فرکانس محلی را به خوبی تخمین بزند. تبدیل موجک گسسته روش دیگری است که در [۱۲] مورد استفاده قرار گرفته است، که پس از اعمال تبدیل موجک و استفاده از یک حد آستانه فازی، تضاد بین لبه‌ها و شیارها زیاد شده و کیفیت اثر انگشت بهبود می‌یابد. از آنجا که به منظور بهبود کیفیت تصویر نیاز است کیفیت لبه‌ها و شیارها همزمان بهبود یابند، در [۱۱] برای هر یک فیلتری در حوزه فرکانس در نظر گرفته شده است. عملکرد فیلترها بر اساس شاخص انرژی که تابعی از دو فاکتور فرکانس و جهت در نظر گرفته شده‌اند ارزیابی می‌گردد. از سویی در حوزه مکان نیز کارهای متعددی صورت پذیرفته است. فیلترها نقش بسیار مهمی در این حوزه ایفا می‌کنند. از آن جمله می‌توان به فیلتر وینر و فیلتر انحصاری ناهمسانگرد<sup>۱</sup> اشاره کرد که در [۲۴] مورد استفاده قرار گرفته‌اند، و یا فیلتر میانه جهت‌دار که در ترکیب با فیلتر ناهمسانگرد در [۹] استفاده شده است. اما یکی از رایج‌ترین، پرکاربردترین و معروف‌ترین فیلترهای مطرح شده در این حوزه فیلتر گابور می‌باشد. برای مثال در [۱۵] برای هر پیکسل جهت و فرکانس محلی محاسبه و فیلتر گابور استاندارد به آن اعمال شده است. علی‌رغم محاسبه صحیح فرکانس‌های محلی، اولاً سرعت فرآیند بهبود کیفیت تصویر کاهش می‌یابد، ثانیاً با استفاده از این روش عموماً اطلاعات سطح سوم اثر انگشت از بین می‌رود. با توجه به عملکرد مطلوب فیلتر گابور در مقاله‌های بسیاری از آن در گام بهبود کیفیت اثر انگشت استفاده شده است. فیلتر گابور لگاریتمی یکی از انواع فیلترهای گابور است که در [۱۴] مورد استفاده قرار گرفته است. اما به دلیل وجود نقطه تکین در تابع لگاریتم، ابتدا تصویر را به حوزه فرکانس برده و سپس فیلتر بانگ گابور لگاریتمی اعمال می‌شود. با این عمل می‌توان گفت اطلاعات مفیدی که در حوزه مکان وجود دارد از بین می‌رود. در مقاله [۱۶]، سعی شده است با تغییراتی در روابط تابع گابور استاندارد تا حدودی به ساختار بافت اثر انگشت نزدیک شوند که به نتایج مطلوبی نیز رسیدند اما چنانچه به ساختار کلی یک اثر انگشت نگاه کنیم، تناوبی از کمان‌ها در زوایای مختلف مشاهده می‌شود.

در این مقاله از تناوب کمان‌ها در زوایای مختلف در تصویر اثر انگشت استفاده شده و یک فیلتر بانک کمائی گابور برای بهبود کیفیت این تصویر ارائه شده است. برای ارزیابی بهبود ایجاد شده در تصویر اثر انگشت نیز از دو روش استفاده شده است. در روش اول، مقایسه بین تصاویر اصلی و تصاویر بهبود یافته بر اساس

<sup>1</sup>unique anisotropic filter

## ۲-۱ فیلتر گابور دوبعدی استاندارد

فیلتر گابور دوبعدی یک فیلتر میان گذر مختلط در فضای مکان (پیکسل ها) است، که از دو بخش حامل و پوش تشکیل شده است.

$$g(x, y) = W_r(x, y) \cdot S(x, y) \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $S(x, y)$  تابع سینوسی مختلط است که بعنوان حامل کننده (حامل)، و قسمت دوم  $W_r(x, y)$  تابع گوسی شکل است که به پوش فیلتر گابور معروف هستند.

### ۲-۱-۱-۱ حامل سینوسی فیلتر گابور

تابع سینوسی مختلط به صورت رابطه (۲) می باشد.

$$S(x, y) = \exp(j(2\pi(u_0x + v_0y) + P)) \quad (2)$$

که در این رابطه  $(u_0, v_0)$  و  $P$  به ترتیب فرکانس فضایی و فاز اولیه تابع سینوسی می باشند. با توجه به این که این تابع مختلط است، لذا می توان همانند روابط (۳) و (۴) آن را به ترتیب بصورت دو قسمت حقیقی و موهومی در نظر گرفت.

$$\text{Re}(S(x, y)) = \cos(2\pi(u_0x + v_0y) + P) \quad (3)$$

$$\text{Im}(S(x, y)) = \sin(2\pi(u_0x + v_0y) + P) \quad (4)$$

همچنین فرکانس های فضایی  $u_0$  و  $v_0$  را نیز می توان بصورت مختصات قطبی در قالب اندازه  $F_0$  و جهت  $w_0$  نیز مطرح کرد. روابط (۵) و (۶) بیان گر فرکانس های فضایی در فرم مختصات قطبی هستند.

$$F_0 = \sqrt{u_0^2 + v_0^2} \quad (5)$$

$$w_0 = \tan^{-1}\left(\frac{v_0}{u_0}\right)$$

$$u_0 = F_0 \cos(w_0) \quad (6)$$

$$v_0 = F_0 \sin(w_0)$$

با استفاده از روابط (۵) و (۶) رابطه (۲) را می توان بصورت رابطه (۷) بازنویسی کرد.

$$S(x, y) = \exp(j(2\pi F_0(x \cos(w_0) + y \sin(w_0)) + P)) \quad (7)$$

### ۲-۱-۲ پوش گوسی

رابطه (۸) بیانگر پوش گوسی است که برای فیلتر دوبعدی گابور استاندارد مورد استفاده قرار می گیرد.

$$W_r(x, y) = K \exp(-\pi(a^2(x-x_0)_r^2 + b^2(y-y_0)_r^2)) \quad (8)$$

که نقطه  $(x_0, y_0)$  ماکزیمم تابع،  $a$  و  $b$  پارامترهای مقیاس است، به صورتیکه با افزایش مقدار آن پوش گوسی کوچکتر می شود و بلعکس. همچنین زیرنویس  $r$  بیانگر عملگر چرخش می باشد که

به صورت خلاصه روش ارائه شده در این مقاله را می توان اینگونه برشمرد:

فاز اول: (بهبود کیفیت تصویر)

- اعمال فیلتربانک پیشنهادی بر روی اثرانگشت ورودی در زوایا و فرکانس های مختلف،
  - بازترکیب پاسخ فیلتربانک پیشنهادی به منظور دستیابی به تصویر بهبود یافته.
- فاز دوم: (ارزیابی تصاویر بهبود یافته)
- روش اول:

- تقسیم بندی تصویر بهبود یافته به بلوک های غیرهم پوشان و اعمال کد BSIF به هر بلوک و استخراج هیستوگرام هر بلوک،
- کنار هم قرار دادن هیستوگرام های به دست آمده از هر بلوک بصورت سری و تولید بردار ویژگی،
- استفاده از ضریب معیار همبستگی به عنوان شاخص شباهت دو بردار ویژگی.
- محاسبه معیار نرخ برابری خطا<sup>۱</sup> برای تأیید هویت و نرخ بازشناسی مرتبه اول<sup>۲</sup> برای شناسایی هویت.

روش دوم:

- ارزیابی تصاویر بهبود یافته نسبت به حالت قبل از اعمال روش پیشنهادی با استفاده از شاخص نسبت سیگنال به نویز پیشینه<sup>۳</sup> استفاده شده است.
- در ادامه در بخش دوم فیلتر کمافی گابور مطرح شده، سپس در بخش سوم پیاده سازی و ارزیابی تصاویر بهبود یافته ارائه می گردد و در نهایت نتیجه گیری در بخش چهارم ارائه می گردد.

## ۲- فیلتر کمافی گابور

در روش پیشنهادی از بازترکیب پاسخ های فیلتربانک گابور در مقیاس و زوایای مختلف استفاده شده است. اما نکته حائز اهمیت ارائه یک تابع تبدیل گابور جدید نزدیک به ساختار اثرانگشت است که در ادامه به شرح آن می پردازیم. همانطور که در بخش قبلی اشاره شده ویژگی های مبتنی بر بافت تصویر امروزه بصورت گسترده ای مورد توجه و استفاده در زمینه پردازش تصویر می باشند. روش های مبتنی بر تابع تبدیل گابور با توجه به نزدیک بودن ساختار فیلتر مورد استفاده در آن از دید ریخت شناسی به بافت اثرانگشت، توانسته است نتایج مطلوب تری در قیاس با دیگر روش ها با توجه به منابع موجود ارائه دهد [۴]. لذا در این بخش ابتدا به بررسی فیلتر گابور استاندارد پرداخته و سپس روش پیشنهادی که تعمیم آن می باشد را مطرح می کنیم.

<sup>1</sup>EER: Equal Error Rate

<sup>2</sup>1<sup>st</sup> Rank

<sup>3</sup>PSNR: Peak Signal to Noise Ratio

### ۲-۳ فیلتر گابور لگاریتمی

در مقاله [۱۷] از فیلتر گابور لگاریتمی استفاده شده است که برخلاف دیگر فیلترهای گابور مختلط نیست. رابطه (۱۴) تابع فیلتر گابور لگاریتمی را بیان می‌کند.

$$\text{Log\_Gabor}(x, y) = K \exp\left(-\frac{[\log(r/f_0)]^2}{2 \cdot \delta_r^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(\theta - \theta_0)^2}{2 \cdot \delta_\theta^2}\right) \quad (14)$$

در رابطه (۱۴)، متغیرهای  $r$  و  $\theta$  مختصات قطبی،  $f_0$  و  $\theta_0$  به ترتیب فرکانس مرکزی و زاویه چرخش فیلتر است. در شکل (۱) اندازه و قسمت حقیقی فیلترهای مذکور به ازای یک مقیاس مشخص و شش زاویه ارائه شده است. در شکل (۲) نیز فیلترهای مذکور در زاویه صفر درجه در فضای سه بعدی نمایش داده شده است.

### ۲-۴ تعمیم یافته فیلتر گابور (توصیفگر پیشنهادی)

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، الگوی غالب در اثر انگشت کمائی شکل است که در صورت اعمال فیلترهای مذکور در شکل (۱) شباهت مناسبی بین فیلترهای اعمالی و تصویر اثر انگشت وجود ندارد. لذا ارائه فیلتری دارای ساختاری نزدیک به اثر انگشت که بتواند همزمان ویژگی‌های بافت را برجسته سازد و همچنین بافت تصویر را تخریب نکند ارزشمند می‌باشد. مراحل تولید فیلتر پیشنهادی به شرح زیر است.

**مرحله اول:** تولید کمان‌های پایه در ابعاد فیلتر مورد نظر به ضخامت یک پیکسل،

**مرحله دوم:** نتایج حاصل از تولید فیلترها به ازای هر پیکسل کمان با یکدیگر جمع شده و فیلتر نهایی را تولید می‌کنند.

با توجه به روابط (۹) و (۱۰) تابع گوسی و به تبع آن فیلتر گابور را در جهت مورد نظر می‌چرخاند.

$$(x - x_0)_r = (x - x_0) \cos(\theta) + (y - y_0) \sin(\theta)$$

$$(y - y_0)_r = -(x - x_0) \sin(\theta) + (y - y_0) \cos(\theta)$$

حال با ترکیب روابط (۷) و (۸) براساس رابطه (۱) برای فیلتر گابور داریم:

$$g(x, y) = K \exp(-\pi(a^2(x - x_0)_r^2 + b^2(y - y_0)_r^2)) \cdot \exp(j(2\pi F_0(x \cos(w_0) + y \sin(w_0)) + P)) \quad (9)$$

### ۲-۲ فیلتر گابور بهبود یافته

به منظور بهبود عملکرد این نوع فیلتر برخی تغییرات در رابطه فوق در مقاله‌های مختلف صورت پذیرفته است. برای مثال در مقاله [۱۵] با اعمال تغییراتی در نحوه محاسبه فرکانس فضایی و تابع حامل با استفاده از رابطه (۱۰) فیلتر گابور بهبود یافته‌ای را مطرح کرد.

$$g(x, y) = K \exp(-(\alpha^2(x - x_0)_r^2 + \beta^2(y - y_0)_r^2)) \cdot \exp(j(2\pi F_0(x - x_0)_r)) \quad (10)$$

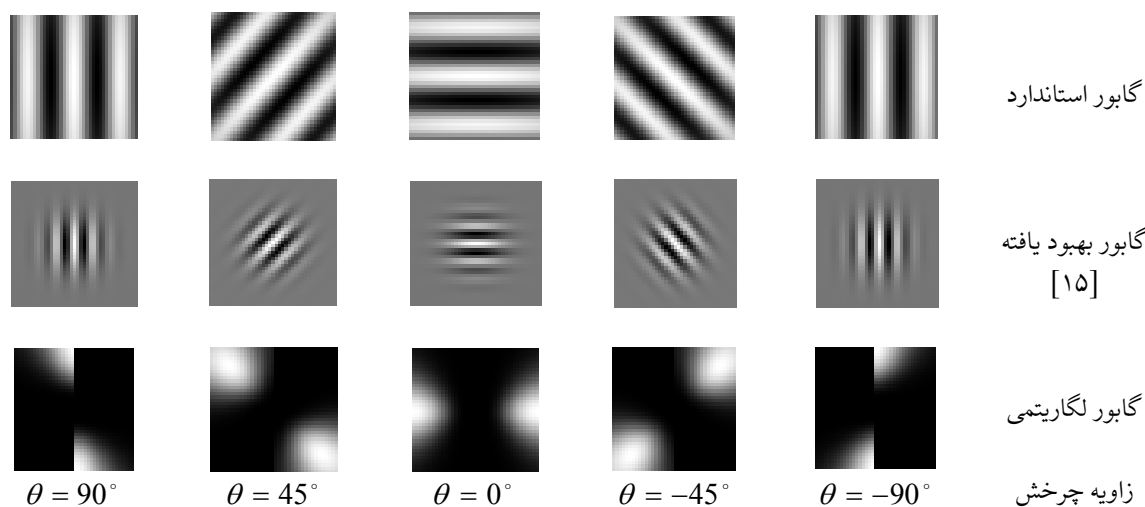
که در رابطه فوق فرکانس فضایی  $f_0$ ، ثابت  $K$  و ضرایب مقایس به ترتیب از روابط (۱۱) تا (۱۳) به دست می‌آیند.

$$F_0 = \frac{f_{\max}}{(\sqrt{2})^{(s-1)}} \quad (11)$$

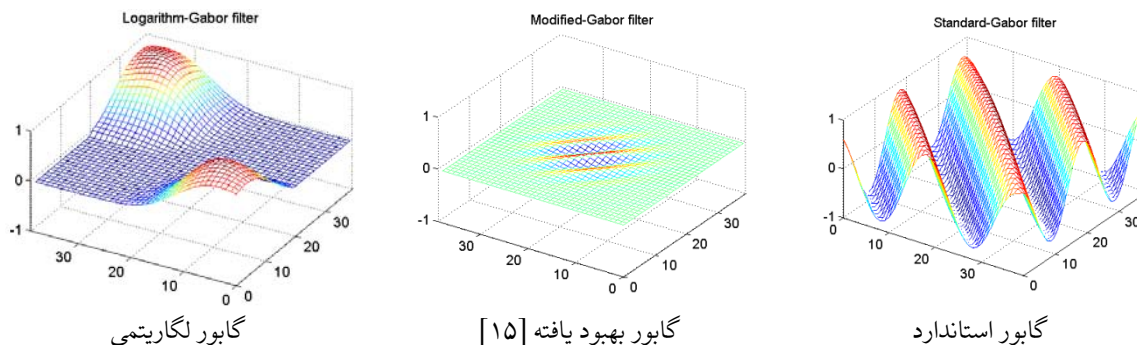
$$K = \frac{F_0^2}{\pi \lambda \eta} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{F_0}{\lambda}, \beta = \frac{F_0}{\eta} \quad (13)$$

در روابط فوق  $S$  مقیاس،  $\lambda$  و  $\eta$  ضرایب فرکانس فضایی می‌باشند.



شکل ۱ قسمت حقیقی فیلترهای گابور به ازای زوایای -۹۰، -۴۵، ۰، ۴۵، ۹۰ درجه در مقیاسی مشابه. ابعاد فیلترها ۳۹×۳۹. الف) فیلتر گابور استاندارد، ب) فیلتر گابور لگاریتمی، ج) فیلتر گابور بهبود یافته [۱۵]



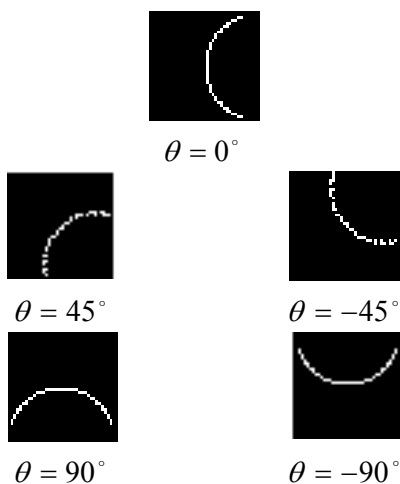
شکل ۲ فیلترهای گابور در فضای سه بعدی با زاویه چرخش ۴۵ درجه. الف) فیلتر گابور استاندارد، ب) فیلتر گابور لگاریتمی، ج) فیلتر گابور بهبود یافته [۱۵]

### ۲-۴-۱ مرحله اول (تولید کمان پایه)

بعد از تولید کمان اصلی می‌توان کمان‌های پایه را با توجه به زوایای چرخش مورد نیاز با توجه به روابط (۱۶) تولید کرد. در شکل (۴) نمونه‌هایی از کمان‌های پایه برای پنج زاویه چرخش نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} x'' &= (x' - (d1/2)) \cos(\theta) + (y' - (d2/2)) \sin(\theta) \\ y'' &= -(x' - (d1/2)) \sin(\theta) + (y' - (d2/2)) \cos(\theta) \end{aligned} \quad (16)$$

در روابط فوق  $\theta$ ، زاویه چرخش،  $(x', y')$  مختصات پیکسل در کمان پایه،  $(x'', y'')$  مختصات پیکسل که به اندازه  $\theta$  درجه چرخیده است.



شکل ۴ کمان‌های پایه به ازای چرخش در چهار حالت

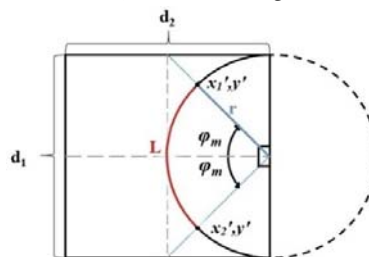
### ۲-۴-۲ مرحله دوم (تولید فیلتر بانک گابور کمانی)

هنگامی که کمان‌های پایه شکل می‌گیرند، موقعیت مکانی پیکسل‌های کمان  $(arc_{ix}, arc_{iy})$  به همراه زاویه آنها نسبت به مرکز کمان  $\varphi_i$  ذخیره می‌گردد. برای مثال در شکل (۳-ب) با در نظر گرفتن ابعاد  $39 \times 39$  تعداد پیکسل‌های کمان ۵۰ عدد می‌باشد. رابطه اصلی حاکم بر فیلتر گابور پیشنهادی رابطه (۱۷) می‌باشد

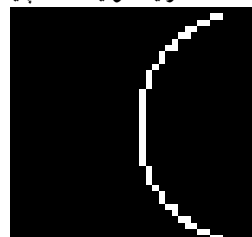
با توجه به شکل (۳-الف)، چنانچه ابعاد فیلتر  $d1 \times d2$  باشد، کمان کامل را می‌توان نصف یک دایره با مرکزیت  $(d2, d1/2)$  و شعاع  $(d1+d2)/2$  در نظر گرفت. نکته حائز اهمیت مشخص کردن پیکسل‌های کمان اصلی است. طول یک کمان از رابطه  $L = r\theta$  بدست می‌آید. با توجه به معادله دایره  $x^2 + y^2 = r^2$  و رابطه  $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$ ، روابط (۱۵) مبنای محاسبه موقعیت مکانی پیکسل‌های کمان پایه می‌باشند.

$$\begin{aligned} y' &= C_y + r \cos(\pi - \varphi_m) \\ x'_{1,2} &= C_x - r \sin(\pi \pm \varphi_m) \end{aligned} \quad (15)$$

در رابطه (۱۵)،  $(C_x, C_y)$  مرکز دایره اصلی که برابر است با  $(d2, d1/2)$  می‌باشد.  $r$  شعاع کمان و  $\varphi_m$  نصف زاویه کمان بطوری که  $0 \leq \varphi_m \leq \frac{\pi}{2}$  است لذا برای طول کمان داریم  $0 \leq L \leq r\pi$ . در شکل (۳-ب) کمان پایه با طول  $\pi r$  دیده میشود.



(الف): فرآیند تولید کمان پایه



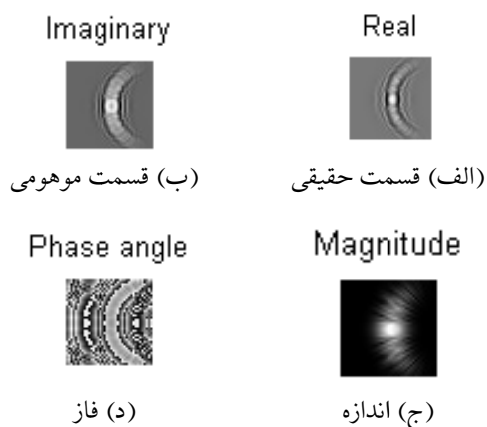
(ب) کمان پایه تولید شده

شکل ۳ تولید کمان پایه

بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت با استفاده از فیلتر بانک کمائی گابور

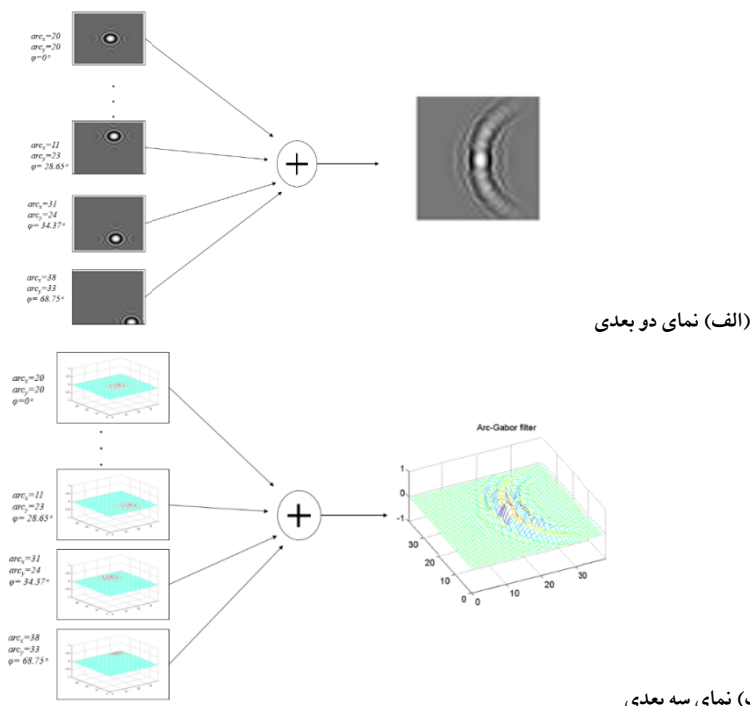
$$\alpha = \frac{F_0}{\lambda}, \beta = \frac{F_0}{\eta}, \chi = \frac{F_0}{\zeta} \quad (21)$$

اندازه، فاز و قسمت حقیقی توصیفگر پیشنهادی در شکل (۵) نشان داده شده است، همچنین در شکل (۶) فرآیند تولید فیلتر گابور کمائی نشان داده شده است.



شکل ۵ اندازه، فاز، قسمت های حقیقی و موهومی توصیفگر پیشنهادی.

شکل (۷) فیلتر گابور کمائی در زوایای  $\{-135^\circ, -90^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$  و ۵ مقیاس مختلف را نشان می‌دهد. شکل (۸) فیلتر گابور کمائی به ازای طول کمان‌های متفاوت را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که با توجه به اینکه ابعاد فیلتر  $39 \times 39$  می‌باشد، لذا شعاع کمان  $r=20$  است.



شکل ۶ فرآیند تولید فیلتر گابور کمائی

که همانند فیلتر گابور استاندارد از سه قسمت تشکیل شده است؛ حامل مختلط سینوسی، پوش گوسی و ضریب  $K$  که در اینجا متغیر است.

$$Arc\_Gabor(x, y) = \sum_{i=1}^n K_i \cdot W_{i_r}(x, y) \cdot S_i(x, y) \quad (17)$$

در رابطه (۱۷)  $n$  بیانگر تعداد پیکسل‌های کمان است، یعنی به ازای هر پیکسل بر روی کمان پایه یک فیلتر گابور شکل می‌گیرد و در نهایت این فیلترهای پایه با یکدیگر جمع شده و فیلتر گابور کمائی اصلی را می‌سازند. رابطه (۱۸) و (۱۹) به ترتیب پوش گوسی و حامل مختلط سینوسی اند که بر پیکسل‌های کمان پایه اعمال می‌شوند.

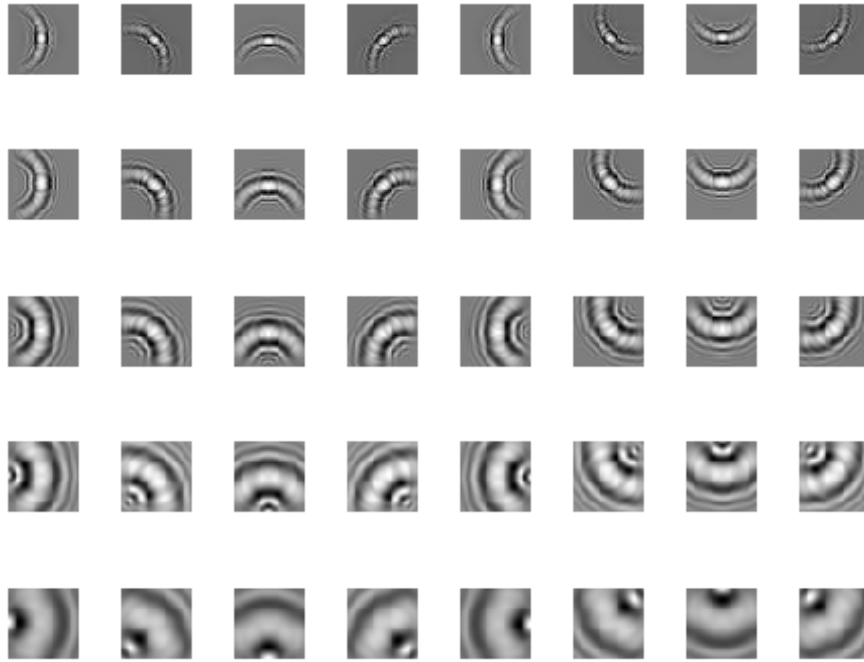
$$w_{i_r}(x, y) = \exp(-(\alpha^2(x - arc_{i_x})_r^2 + \beta^2(y - arc_{i_y})_r^2)) \quad (18)$$

$$S_i(x, y) = \exp(j(2\pi F_0(\alpha(x - arc_{i_x})_r + \beta(y - arc_{i_y})_r) + P)) \quad (19)$$

به منظور حفظ ساختار گوسی در طول کمان ضریب  $C_{arc}$  به ضریب  $K$  در رابطه (۲۰) اضافه شده است، به نحوی که بیشترین مقدار ضریب برای مرکز کمان است و هرچه قدر از مرکز کمان فاصله می‌گیریم بصورت نمایی این مقدار کم می‌شود.

$$K = C_{arc} \frac{F_0^2}{\pi \lambda \eta}, \quad C_{arc} = \exp(-\chi^2(\varphi_i - \varphi_c)^2) \quad (20)$$

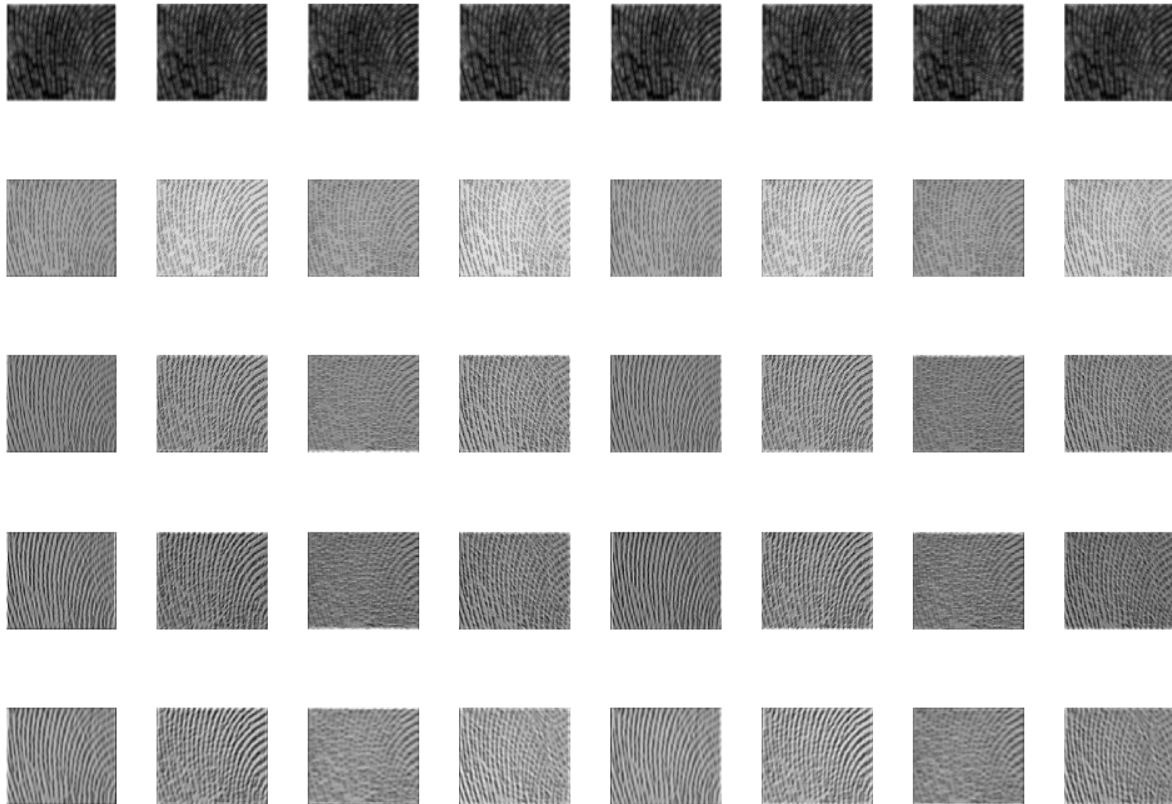
در رابطه فوق  $\varphi_c$  زاویه کمان مرکزی است،  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\chi$  پارامتر مقیاس بوده که از رابطه (۲۱) بدست می‌آیند.



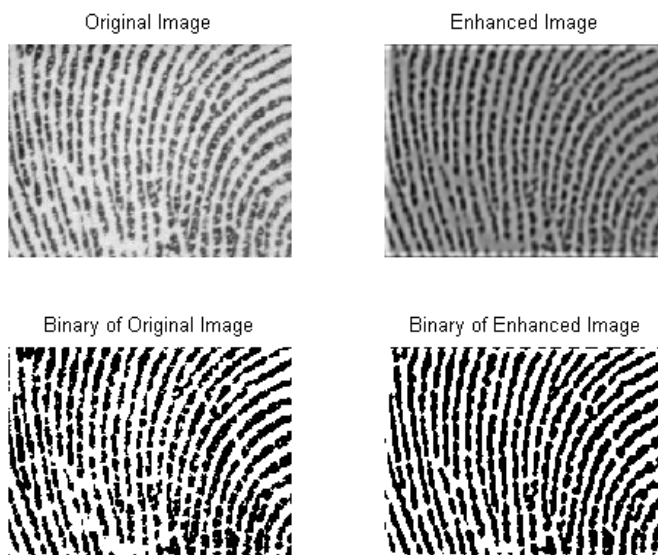
شکل ۷ فیلتر گابور کمانی در زوایای مختلف از سمت چپ  $0^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$  است.



شکل ۸ فیلتر گابور کمانی به ازای طول های مختلف برای کمان به ترتیب از سمت چپ:  $0, 0.1\pi, 0.2\pi, 0.3\pi, 0.4\pi, 0.5\pi$ .



(الف) پاسخ فیلتربانک کمانی گابور



(ب) تصویر سمت چپ اثر انگشت ورودی، تصویر سمت راست بهبود یافته اثر انگشت

شکل ۹ پاسخ فیلتر بانک کمائی گابور به یک اثر انگشت نمونه از پایگاه داده DBII و بهبود آن

### ۳- پیاده سازی و ارزیابی نتایج

شکل (۱۰) روندنمای کل فرآیند کار را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در ابتدا تصویر ورودی وارد فیلتر بانک گابور شده و در نهایت با جمع پاسخ‌های دریافتی از فیلتر بانک تصویر بهبود یافته بدست می‌آید. در گام بعدی به منظور ارزیابی تصاویر بهبود یافته، از سه معیار PSNR و تأیید هویت و تشخیص هویت استفاده می‌شود. در فرآیند تأیید / شناسایی هویت با استفاده از توصیفگر BSIF ویژگی‌های هیستوگرام نرمالیزه از بافت اثر انگشت استخراج و با بردار ویژگی تصویر ثبت شده مقایسه می‌گردد.

#### ۳-۱ پایگاه‌های داده مورد استفاده

در این مقاله دو پایگاه داده DBI و DBII استفاده شده‌اند که به ترتیب شامل تصاویر اثر انگشت با رزولیشن بالا ۱۲۰۰ dpi می‌باشند که توسط دانشگاه پلی تکنیک هنگ کنگ<sup>۲</sup> ارائه شده‌اند. پایگاه داده اصلی، DBII با تصاویری در ابعاد ۶۴۰×۴۸۰ است که در قالب دو قسمت آموزش و آزمایش ارائه شده است. قسمت آموزش شامل ۱۰ اثر انگشت از ۳۵ نفر و قسمت آزمایش شامل ۱۰ اثر انگشت از ۱۴۸ نفر می‌باشد. شایان ذکر است اثر انگشت‌ها در دو مرحله و در هر مرحله ۵ اثر انگشت از هر نفر گرفته شده است. در پایگاه داده DBI اثر انگشت‌های قسمت آزمایش DBII بدون لحاظ کردن هسته

### ۲-۵ بهبود تصاویر اثر انگشت با استفاده از روش

#### پیشنهادی

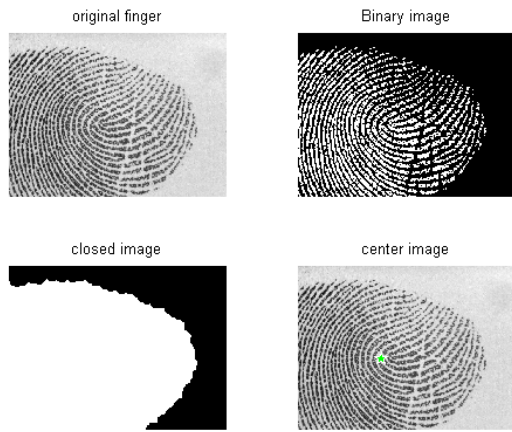
به منظور بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت، همان‌طور که در شکل (۹) نیز مشاهده می‌شود از باز ترکیب پاسخ فیلترهای گابور به تصویر اثر انگشت ورودی استفاده شده است. اعمال فیلتر بانک گابور پیشنهادی در زوایا و مقیاس‌های مختلف، اطلاعات متفاوتی را از تصویر ورودی به صورت مجزا آشکار می‌کند. با باز ترکیب این پاسخ‌ها می‌توان به تصویر به مراتب بهتر از تصویر اصلی با برجسته تر شدن جزئیات دست پیدا کرد. به صورت کلی ویژگی‌های موجود در اثر انگشت را می‌توان به سه سطح تقسیم نمود [۴].

سطح اول ساختار کلی اثر انگشت شامل اطلاعات الگوهای لبه‌ها و اطلاعات ریخت شناسی آن می‌باشد. سطح دوم مربوط به ویژگی‌های مینوشیا می‌باشد و در سطح سوم که اطلاعات مفیدتری به همراه دارد روزه‌های عرق<sup>۱</sup> [۲۰] موجود در اثر انگشت هستند که در صورت استخراج اطلاعات باارزشی برای تأیید یا شناسایی هویت و حتی تشخیص زنده بودن اثر انگشت در اختیار می‌گذارد. شکل (۹) تصویر ورودی و بهبود یافته آن در سطوح خاکستری و باینری نشان می‌دهد. تصویر بهبود یافته بخوبی توانسته ناپیوستگی‌های موجود در بافت اصلی را ترمیم کند و همچنین روزه‌های عرق را نیز برجسته کند. موارد مذکور در حالت باینری بیشتر محسوس است.

<sup>2</sup>[http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/HRF/HRF\\_old.htm](http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/HRF/HRF_old.htm)

<sup>1</sup>Sweat pore





(الف) نحوه یافتن هسته اثر انگشت



(ب) اثر انگشت در پایگاه داده DBI در ابعاد  $320 \times 240$   
 (ج) اثر انگشت استخراج شده در پایگاه داده DBII در ابعاد  $250 \times 250$

شکل ۱۱ فرآیند استخراج ناحیه اثر انگشت در پایگاه داده DBII

### ۳-۲ روش اول: تأیید و شناسایی هویت

در این بخش با استفاده از نتایج بدست آمده از تأیید و شناسایی هویت به ارزیابی روش پیشنهادی برای بهبود کیفیت تصویر می‌پردازیم. به همین منظور از یک توصیفگر محلی بنام الگوریتم BSIF استفاده شده است.

### ۳-۲-۱ فرآیند تولید بردار ویژگی و انطباق

در این مرحله تصویر بهبود یافته به بلوک‌هایی غیرهم پوشان تقسیم شده و به هر بلوک الگوریتم BSIF [۲۲] اعمال می‌گردد، در هر بلوک هیستوگرام نرمال از پاسخ الگوریتم BSIF بدست می‌آید. در نهایت با کنارهم قراردادن هیستوگرام‌های بدست آمده بردار ویژگی بدست می‌آید. شکل (۱۲) فرآیند کار را به ازای تقسیم تصویر بهبود یافته به شش بلوک نشان می‌دهد که حاصل آن یک بردار ویژگی با طول  $1530 = 6 \times 255$  است.

مرکزی اثر انگشت در ابعاد  $240 \times 320$  برش داده شده‌اند. در این مقاله به صورت تصادفی برای هر فرد ۵ اثر انگشت به عنوان گالری اثر انگشت‌های ثبت شده در نظر گرفته شد. با توجه به این موضوع برای مسأله تأیید هویت  $5 \times 1 \times 148 = 740$  انطباق برای هویت‌های اصلی<sup>۱</sup> و  $5 \times 147 \times 148 = 108780$  انطباق برای هویت‌های جعلی<sup>۲</sup> داریم. شایان ذکر است در این مقاله اثر انگشت ورودی با گالری‌های موجود که در مرحله ثبت<sup>۳</sup> هویت تنظیم شده‌اند مقایسه می‌گردد، به نحوی که در هر گالری ۵ اثر انگشت وجود دارد که اثر انگشت ورودی با همه آنها تطبیق داده می‌شود و بیشترین معیار انطباق (شباهت) بعنوان میزان انطباق اثر انگشت ورودی و گالری مورد نظر لحاظ می‌گردد.

### ۳-۱-۱ جدا کردن ناحیه اثر انگشت

پایگاه‌های داده قسمت آزمایش DBI و DBII در واقع یکسان هستند، اما در ابعاد مختلف ارائه شده‌اند. در این مقاله به منظور استفاده از پایگاه داده DBII، در ابتدا ناحیه مورد علاقه<sup>۴</sup> (ناحیه اثر انگشت) استخراج گردید. یافتن نقطه هسته اثر انگشت و برش تصویر اصلی به مرکز محاسبه شده هسته اثر انگشت یکی از چالش‌های مورد بحث در این حوزه به شمار می‌آید، که در بسیاری از موارد نیازمند هزینه محاسباتی بالا می‌باشد. در این مقاله روشی ساده، سریع اما با دقت نسبتاً پایین تر برای پایگاه داده‌های مورد مطالعه استفاده شده است. همان‌طور که در شکل (۱۱) دیده می‌شود مراحل زیر برای استخراج ROI استفاده شده است.

- تبدیل تصویر سطح خاکستری ورودی به حالت باینری،
- معکوس کردن تصویر باینری.
- استفاده از دستور ریخت‌شناسی بستن<sup>۵</sup> به منظور یکپارچه کردن پیکسل‌های سفید،
- یافتن مرکز تصویر یک‌دست شده اثر انگشت.
- جدا کردن تصویر یک‌دست شده به مرکز اثر انگشت محاسبه شده در قسمت قبل در ابعاد دلخواه.

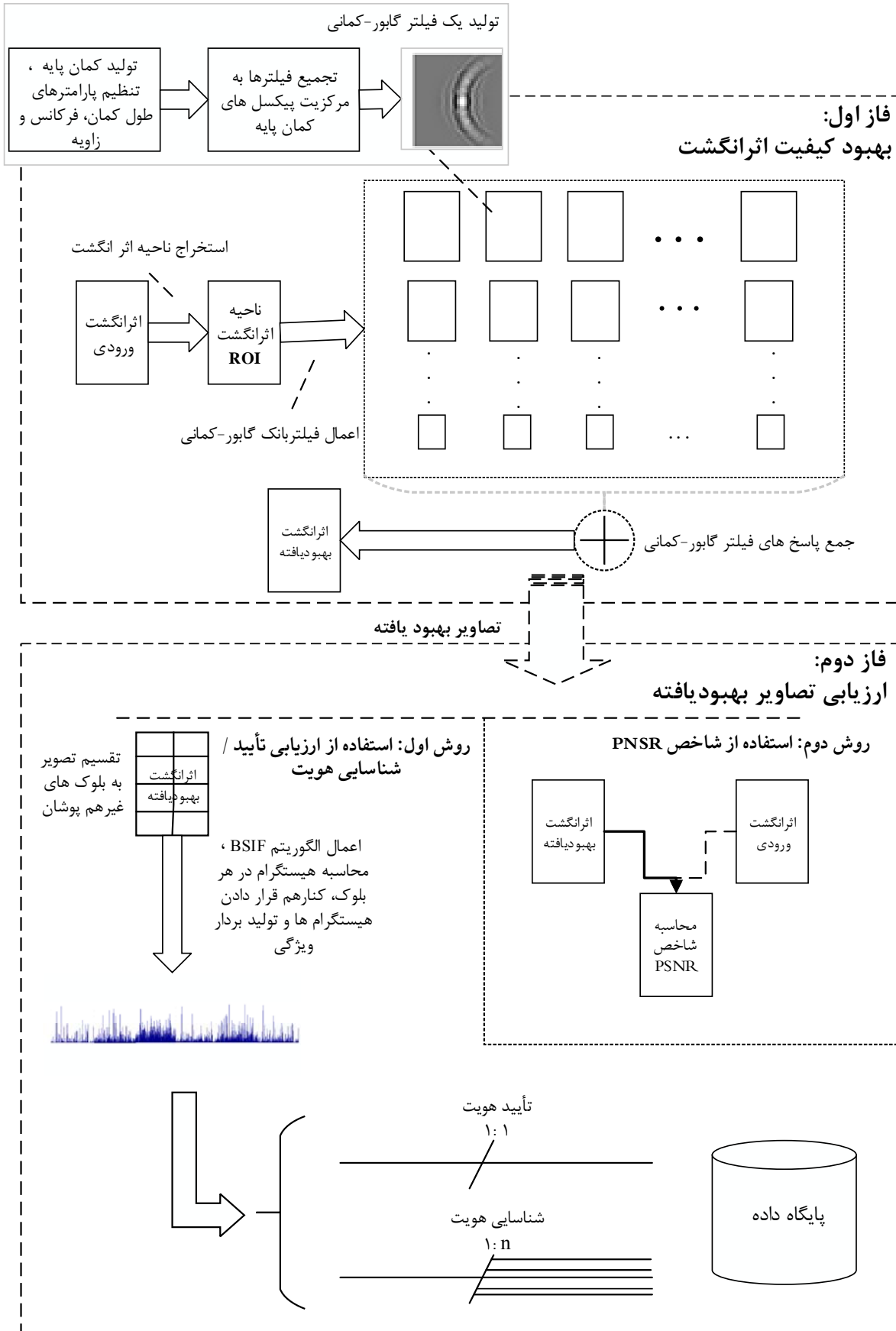
<sup>1</sup>Genuine

<sup>2</sup>Impostor

<sup>3</sup>Enrolment Step

<sup>4</sup>ROI: Region Of Interest

<sup>5</sup>imclose



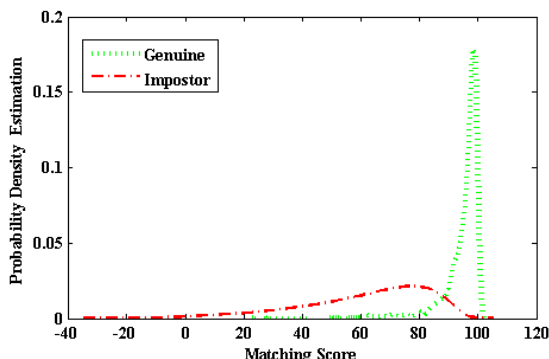
شکل ۱۰ روندنمای فرآیند کار انجام شده

$$D_{xy} = 100 \times \frac{(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{(y - \bar{y})(y - \bar{y})} \sqrt{(x - \bar{x})(x - \bar{x})}} \quad (24)$$

که در اینجا  $D_{xy}$  معیار همبستگی دو بردار را نشان می دهد،  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  به ترتیب مقادیر متوسط بردارهای  $x$  و  $y$  هستند.

### ۲-۲-۳ نتایج تأیید هویت

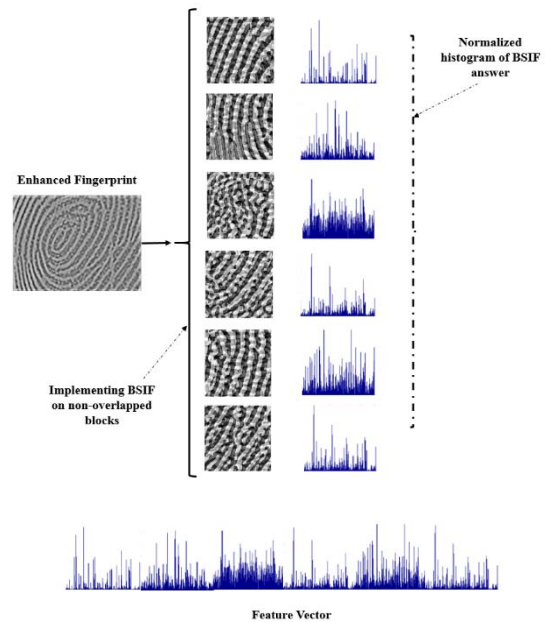
فرآیند تأیید هویت مقایسه‌ای یک به یک است، به عبارتی سیستم تشخیص هویت خودکار ادعا شده را مورد بررسی قرار می دهد. چنانچه میزان شباهت اثر انگشت ورودی و گالری مورد نظر از حد آستانه بیشتر باشد هویت ادعا شده تأیید می شود. با توجه به معیار شباهت مطرح شده در رابطه (۲۴)، چنانچه دو اثر انگشت از یک هویت باشند، مقدار شباهت به ۱۰۰ نزدیک است و اگر میزان شباهت دو اثر انگشت کم باشد این مقدار نزدیک به صفر است. در این بخش به منظور ارزیابی عملکرد سیستم به ازای حد آستانه‌های مختلف از منحنی گراف مصالحه شناسایی خطا (DET) که نشان دهنده تغییرات نرخ پذیرش اشتباه (FAR) نسبت به نرخ پذیرش صحیح (FRR) به ازای حد آستانه های مختلف می باشد، استفاده می شود. همچنین بدلیل آنکه گاهی نمودارهای DET برای حالات مختلف نزدیک است نرخ تساوی خطا (EER) بعنوان شاخص کمی برای مقایسه عملکرد روش های پیشنهادی استفاده می شود. جدول (۱) بیانگر پارامترهای استفاده شده در این مقاله برای فیلتربانک پیشنهادی و فیلتربانک های دیگر را نشان می دهد. شایان ذکر است الگوریتم BSIF در ابعاد  $11 \times 11$  با دقت (تعداد ویژگی) ۸ بیت استفاده شده است. سعی شده است مقادیر استفاده شده بهترین عملکرد را برای فیلتربانک های مورد ارزیابی ارائه دهند. شکل (۱۳) بیانگر تابع چگالی احتمال توزیع معیار شباهت برای تصویر بهبود یافته توسط روش پیشنهادی را نشان می دهد.



شکل ۱۳ تابع چگالی احتمال توزیع معیار شباهت

این نمودار نشان می دهد، اکثر مقادیر شباهت برای هویت های مشابه بیشتر از ۹۰ و این میزان برای هویت های جعلی کمتر از ۹۰ است.

الگوریتم BSIF توصیفگر محلی تصویر می باشد که از باینری کردن پاسخ ها به فیلترهای خطی تولید می شود، اما برخلاف توصیفگرهای باینری دیگر فیلترها با استفاده از تحلیل مؤلفه مستقل<sup>۱</sup> آموزش می بینند.



شکل ۱۲ فرآیند تولید بردار ویژگی

این توصیفگر دارای دو پارامتر اصلی می باشد: ابعاد فیلتر و تعداد ویژگی های قابل استخراج. چنانچه فرض کنیم  $X$  بلوکی از تصویر اصلی با ابعاد  $l \times l$  پیکسل باشد و  $W_i$  فیلتر خطی با همان سایز باشد، آنگاه پاسخ فیلتر  $S_i$  بصورت رابطه (۲۲) قابل محاسبه خواهد بود.

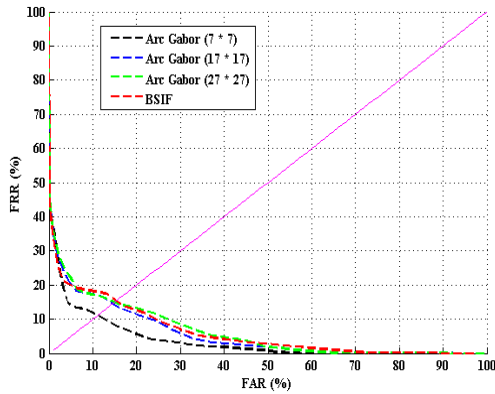
$$S_i = \sum_{u,v} W_i(u,v)X(u,v) = w_i^T x \quad (22)$$

در رابطه (۲۲)، بردارهای  $w$  و  $x$  شامل پیکسل های  $W_i$  و  $X$  می باشند. ویژگی های باینری نیز بصورت رابطه (۲۳) محاسبه می شوند.

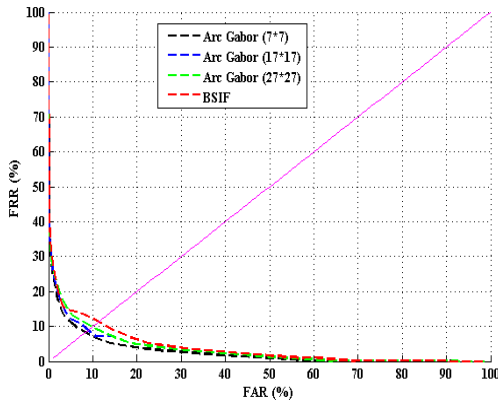
$$b_i = \begin{cases} 1 & S_i > 0 \\ 0 & S_i < 0 \end{cases} \quad (23)$$

در نهایت عمل انطباق در این مقاله براساس معیار همبستگی دو بردار انجام شده است. در این معیار میزان همبستگی یا عبارتی شباهت دو بردار  $x$  و  $y$  از طریق رابطه (۲۴) محاسبه می شود. چنانچه دو بردار کاملاً بر هم منطبق باشند یا به هم نزدیک باشند، این مقدار همبستگی به واحد یا معادل آن ۱۰۰ نزدیک می شود و هرچقدر دو بردار از یکدیگر دور باشند این مقدار به صفر نزدیک تر می شود.

<sup>۱</sup>ICA: Independent Component Analysis



شکل (الف) منحنی DET برای پایگاه داده DBI



شکل (ب) منحنی DET برای پایگاه داده DBII

شکل ۱۴ منحنی DET برای توصیفگر پیشنهادی به ازای ابعاد مختلف فیلتر

جدول (۲) بیانگر میزان نرخ EER برای روش های مختلف را نشان می دهد. هرچقدر این مقدار کمتر باشد، نشان از عملکرد بهتر برای تأیید هویت می باشد. شایان ذکر است مقادیر بصورت تقریبی است، میزان خطا حدود  $\pm 0.1\%$  می باشد. شکل (۱۴) منحنی DET برای ابعاد مختلف توصیفگر پیشنهادی در قیاس با این که الگوریتم BSIF را مستقیماً به تصویر ورودی اعمال کنیم نشان می دهد.

جدول ۲ میزان نرخ EER ( $\pm 0.1\%$ )

DBII	DBI	پایگاه داده	
		فیلتربانک	الگوریتم BSIF
۱۱/۷۰	۱۵/۸۹		
۸/۰۰	۱۱/۳۵	(۷ × ۷)	فیلتر کمای گابور
۹/۰۰	۱۴/۸۰	(۱۷ × ۱۷)	
۱۰/۵۰	۱۵/۰۰	(۲۷ × ۲۷)	فیلتر گابور بهبود یافته
۹/۱۰	۱۳/۰۰	(۷ × ۷)	
۱۰/۷۰	۱۴/۰۰	(۱۷ × ۱۷)	فیلتر گابور استاندارد
۱۱/۳۵	۱۵/۶۸	(۲۷ × ۲۷)	
۱۰/۶۵	۱۵/۱۲	(۷ × ۷)	فیلتر گابور لگاریتمی
۸/۶۵	۱۴/۰۰	(۱۷ × ۱۷)	
۸/۱۰	۱۲/۲۰	(۲۷ × ۲۷)	فیلتر گابور لگاریتمی
۱۲/۲۰	۱۵/۲۰	(۷ × ۷)	
۱۳/۰۰	۱۵/۰۵	(۱۷ × ۱۷)	
۱۲/۱۸	۱۲/۰۰	(۲۷ × ۲۷)	

جدول ۱ مقادیر پارامترها برای فیلتربانک های مورد ارزیابی

$f_0$	$\delta_{r_{max}}$	$\delta_\theta$	b	a	$f_{max}$	$\zeta$	$\eta$	$\lambda$	$\phi_m$	
0.25	-	-	$1/40$	$1/50$	-	-	-	-	-	فیلتربانک گابور استاندارد
20	0.5	$\pi/9$	-	-	-	-	-	-	-	فیلتربانک گابور لگاریتمی
-	-	-	-	-	$0.7 \times 0.45$	-	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	-	فیلتربانک گابور بهبود یافته
-	-	-	-	-	0.45	0.2	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\pi/2$	فیلتربانک گابور کمای

- نتایج بدست آمده نشان می دهند فیلتربانک پیشنهادی و فیلتربانک گابور بهبود یافته رفتار مشابهی از خود بروز داده اند و این امر می تواند بدلیل انطباق بیشتر این دو نوع فیلتر در ابعاد کوچکتر با بافت اثر انگشت های موجود در پایگاه های داده مورد ارزیابی باشد، در حالیکه این امر چندان برای فیلتربانک گابور استاندارد صادق نبوده و به منظور استخراج نتایج بهتر در حالت استاندارد نیاز به استفاده از ابعاد بزرگتر فیلتر است که این امر منجر به افزایش حجم محاسبات و در نتیجه کاهش سرعت می شود.

- با توجه به اینکه فیلتر بانک پیشنهادی در مرحله برون خط تولید می شود، لذا زمان صرف شده برای تولید آن که از مابقی فیلترهای بانک های مبتنی بر تابع تبدیل گابور بیشتر است اهمیت چندانی

با توجه به توجه به نتایج جدول (۲) و منحنی های شکل (۱۴) نتایج زیر را می توان برشمرد:

- روش پیشنهادی برای جدا کردن ناحیه اثر انگشت با وجود سادگی و سرعت مناسب منجر به دقت بهتری در نتایج نسبت به پایگاه داده DBI شده است، به صورتی که در نرخ EER حدود ۴٪ بهبود را می توان مشاهده نمود.

- نتایج نشان می دهند، هرچقدر ابعاد فیلتر انتخابی کوچکتر باشد نتایج بهتری به دست می آید. برای مثال همانطور که در اشکال (۱۴) دیده می شود، بهترین مقدار EER به ازای فیلتر در ابعاد  $7 \times 7$  بدست می آید.

- با توجه جدول (۲) بهترین نتایج با استفاده از توصیفگر پیشنهادی و به ازای ابعاد  $7 \times 7$  بدست می آید.

منحنی‌ها جهت ارزیابی عملکرد روش‌های شناسایی می‌باشد. در این قسمت فرآیند شناسایی هویت پنج بار بصورت مجزا تکرار شده است و نتایج ارائه شده متوسط نتایج بدست آمده می‌باشند. نتایج حاصل برای پایگاه داده DBI و DBII به ترتیب در اشکال (۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۳-الف): مقادیر متوسط نرخ بازشناسی صحیح

(%) برای پایگاه داده DBI به ازای ۵ بار تکرار مجزا

رتبه دوم (2 <sup>nd</sup> Rank)	رتبه اول (1 <sup>st</sup> Rank)	پایگاه داده	فیلتربانک
۷۴/۵۴	۶۹/۲۸	BSIF	الگوریتم
۸۲/۷۴	۷۸/۸۰	(۷ × ۷)	فیلتر کمانی گابور
۸۲/۲۱	۷۶/۵۸	(۱۷ × ۱۷)	
۸۱/۴۳	۷۶/۱۴	(۲۷ × ۲۷)	فیلتر گابور بهبودیافته
۸۲/۲۱	۷۶/۸۴	(۷ × ۷)	
۷۸/۸۰	۷۳/۴۳	(۱۷ × ۱۷)	فیلتر گابور استاندارد
۷۵/۰۴	۶۹/۷۶	(۲۷ × ۲۷)	
۸۰/۲۱	۷۶/۸۴	(۷ × ۷)	فیلتر گابور لگاریتمی
۸۰/۹۰	۷۷/۱۰	(۱۷ × ۱۷)	
۷۹/۰۶	۷۸/۲۲	(۲۷ × ۲۷)	
۸۱/۹۵	۷۶/۷۱	(۷ × ۷)	
۷۹/۰۷	۷۵/۱۴	(۱۷ × ۱۷)	
۸۲/۴۷	۷۷/۷۵	(۲۷ × ۲۷)	

جدول (۳-ب): مقادیر متوسط نرخ بازشناسی صحیح

(%) برای پایگاه داده DBII به ازای ۵ بار تکرار مجزا

رتبه دوم (2 <sup>nd</sup> Rank)	رتبه اول (1 <sup>st</sup> Rank)	پایگاه داده	فیلتربانک
۷۳/۶۸	۷۱/۱۶	BSIF	الگوریتم
۸۳/۳۰	۸۱/۷۰	(۷ × ۷)	فیلتر کمانی گابور
۸۲/۷۶	۷۹/۴۱	(۱۷ × ۱۷)	
۸۱/۹۵	۷۹/۱۲	(۲۷ × ۲۷)	فیلتر گابور بهبودیافته
۸۲/۷۶	۷۹/۶۸	(۷ × ۷)	
۷۹/۲۶	۷۶/۱۹	(۱۷ × ۱۷)	فیلتر گابور استاندارد
۷۵/۷۷	۷۲/۴۳	(۲۷ × ۲۷)	
۸۲/۷۶	۷۹/۶۸	(۷ × ۷)	فیلتر گابور لگاریتمی
۸۱/۴۱	۷۹/۹۵	(۱۷ × ۱۷)	
۸۲/۵۴	۸۰/۳۹	(۲۷ × ۲۷)	
۸۲/۴۹	۷۹/۵۵	(۷ × ۷)	
۷۹/۵۳	۷۷/۹۴	(۱۷ × ۱۷)	
۸۳/۰۳	۸۰/۶۲	(۲۷ × ۲۷)	

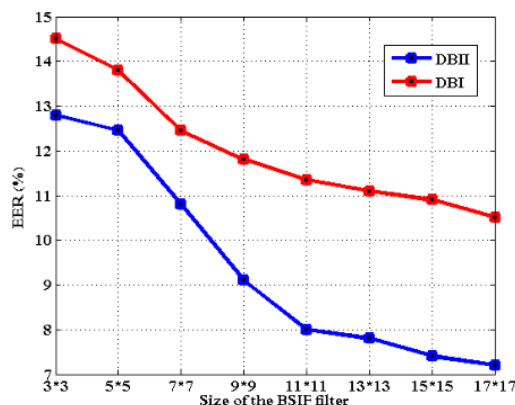
منحنی CMC بیانگر قدرت طبقه‌بندی یا همان شناسایی داده ورودی می‌باشد. پرواضح است که سیستمی عملکرد بهتری دارد که در مرتبه اول نرخ بازشناسی بهتری ارائه دهد. در مرتبه‌های بعدی شانس قدرت بازشناسی سیستم طبیعتاً افزایش می‌یابد، اما سیستمی موفق‌تر است که زودتر به نرخ بازشناسی ۱۰۰٪ برسد. جدول (۳) نرخ بازشناسی صحیح برای مرتبه اول و دوم را نشان می‌دهد.

ندارد. اما با توجه به دقت و قابلیت اطمینانی که با استفاده از روش پیشنهادی در حالت برخط بدست می‌آید، زمان سپری شده در مرحله برون خط قابل اقباض است.

### ۳-۲-۱-۲-۱ تحلیل حساسیت نتایج نسبت به تغییر ابعاد فیلتر BSIF

توصیفگر BSIF دارای دو پارامتر ابعاد فیلتر و دقت یا عبارتی تعداد ویژگی‌های استخراج شده در هر بار عملیات کانوالو است که بر عملکرد آن تأثیر مستقیم دارد. در این قسمت به ارزیابی حساسیت روش پیشنهادی می‌پردازیم. تحلیل حساسیت بر روی بهترین حالت یعنی استفاده از ابعاد  $7 \times 7$  برای فیلتر گابور - کمانی صورت پذیرفته است. شکل (۱۵) نتایج حاصل از این ارزیابی بر روی تغییر مقادیر EER نشان می‌دهد. دقت استفاده شده ۸ بیت بوده و ابعاد فیلتر به ترتیب از  $3 \times 3$ ،  $5 \times 5$ ،  $7 \times 7$ ،  $9 \times 9$ ،  $11 \times 11$ ،  $13 \times 13$ ،  $15 \times 15$  و  $17 \times 17$  می‌باشند.

ارزیابی انجام گرفته نشان می‌دهد هرچه قدر ابعاد فیلتر افزایش یابد مقدار EER بهبود می‌یابد. این امر به ازای ابعاد کمتر  $9 \times 9$  بشدت تغییر می‌کند در حالیکه به ازای ابعاد بیشتر از  $11 \times 11$  تغییرات کند می‌شود. ملاحظه‌ای که وجود دارد آن است که هرچه قدر ابعاد فیلتر را افزایش دهیم حجم محاسبات افزایش یافته لذا سرعت سیستم کاهش می‌یابد. به همین دلیل در این مقاله بدلیل برقراری مصالحه‌ای بین سرعت و دقت ابعاد  $11 \times 11$  برای فیلتر BSIF انتخاب شد.



شکل ۱۵ روند تغییرات مقدار EER به ازای تغییرات در ابعاد فیلتر BSIF

### ۳-۲-۳ نتایج شناسایی هویت

شناسایی هویت فرآیندی است که در آن اثرانگشت ورودی با تمام گالری‌های موجود مقایسه می‌شود، اثرانگشت به گالری نسبت داده می‌شود که بیشترین شباهت را با آن داشته باشد. منحنی مشخصه انطباق جمععی (CMC) یکی از مناسب‌ترین

نتایج بدست آمده نشان می دهد، هم در مرتبه اول و هم در مرتبه دوم توصیفگر پیشنهادی به ازای فیلتر با ابعاد  $7 \times 7$  بهترین نتایج را برای شناسایی هویت ارائه می دهد. از سویی نتایج بدست آمده برای پایگاه داده DBII که ناحیه اثرانگشت توسط روش ساده پیشنهادی مطرح شده از نتایج به دست آمده برای پایگاه داده DBI بهتر است.

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_{input}(i, j) - I_{Enhanced}(i, j))^2 \quad (25)$$

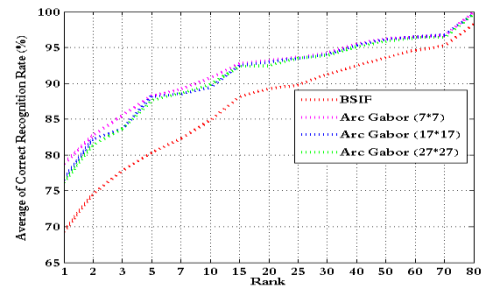
$$PSNR = 10 \log_{10} ((L-1)^2 / MSE) \quad (26)$$

در روابط فوق  $I_{input}$  و  $I_{Enhanced}$  به ترتیب تصویر اصلی و تصویر بهبودیافته می باشند.

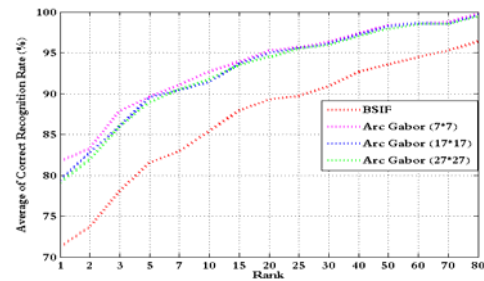
### ۳-۳-۱ نتایج بهبود کیفیت تصویر اثرانگشت

در شکل (۱۷) نتایج استفاده از سه نوع فیلتربانک دیگر که عبارتند از فیلتربانک گابور استاندارد [۱۵]، فیلتربانک گابور بهبود یافته [۱۶]، فیلتربانک گابور لگاریتمی [۱۷] به منظور مقایسه با فیلتربانک پیشنهادی ارائه شده است. همانطور که در شکل (۱۷) مشاهده می شود، مقدار PSNR برای فیلتربانک کمانی گابور از موارد دیگر بهتر است. جدول (۴) نتایج میانگین مقدار PSNR برای تصاویر اثرانگشت دو پایگاه داده مورد مطالعه را نشان می دهد. در این بررسی پنج مقیاس و هشت زاویه استفاده شده است، همچنین مقدار فرکانس ماکزیمم به ترتیب برای توصیفگر پیشنهادی، فیلتربانک گابور بهبود یافته، فیلتربانک گابور استاندارد و فیلتربانک گابور لگاریتمی عبارتند از  $0/5$ ،  $0/3$ ،  $0/35$  و  $0/05$ . علت تفاوت در این مقادیر آن است که سعی بر آن شده است تمام فیلتربانکها در بهترین شرایط عملکردی خود اجرا شوند. بعد از بررسی های فراوان و متعدد این مقادیر لحاظ شد.

نتایج بدست آمده نشان می دهد، هم در مرتبه اول و هم در مرتبه دوم توصیفگر پیشنهادی به ازای فیلتر با ابعاد  $7 \times 7$  بهترین نتایج را برای شناسایی هویت ارائه می دهد. از سویی نتایج بدست آمده برای پایگاه داده DBII که ناحیه اثرانگشت توسط روش ساده پیشنهادی مطرح شده از نتایج به دست آمده برای پایگاه داده DBI بهتر است.



الف) منحنی CMC برای پایگاه داده DBI



ب) منحنی CMC برای پایگاه داده DBII

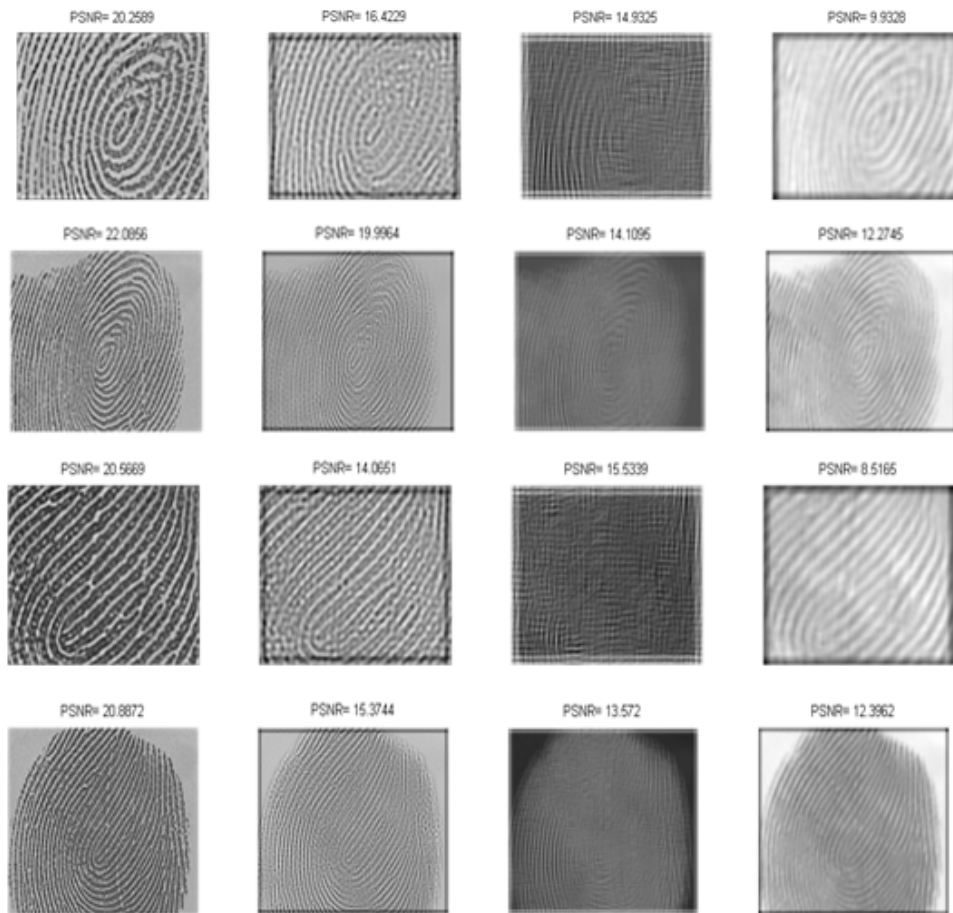
شکل ۱۶ منحنی CMC به ازای ابعاد مختلف برای فیلتربانک پیشنهادی (مقادیر متوسط ۵ بار اجرای مجزا است)

### ۳-۳-۲ روش دوم: شاخص PSNR

روش دوم ارزیابی در این مقاله، میزان بهبود تصویر اثرانگشت ورودی نسبت به خودش معیار نسبت سیگنال به نویز بیشینه

جدول ۴ مقدار متوسط PSNR برای تصویر بهبود یافته اثرانگشت های موجود در پایگاه داده DBI و DBII

پایگاه داده DBII			پایگاه داده DBI			فیلتربانک
$7 \times 7$	$17 \times 17$	$27 \times 27$	$7 \times 7$	$17 \times 17$	$27 \times 27$	
۲۱/۶۵۷۱	۲۲/۳۴۲۷	۱۷/۰۲۲۱	۲۰/۳۴۹۹	۲۰/۱۰۰۲	۱۶/۷۸۹۹	فیلتربانک گابور - کمانی
۱۶/۸۹۴۳	۱۵/۸۲۶۸	۱۵/۳۶۶۱	۱۶/۴۷۹۸	۱۶/۳۲۶۸	۱۴/۰۰۴۴	فیلتربانک گابور بهبود یافته
۱۴/۱۰۰۳	۱۵/۴۲۸۹	۱۹/۴۵۵۱	۱۵/۴۳۴۴	۱۶/۷۲۴۶	۱۷/۲۳۳۳	فیلتربانک گابور استاندارد
۱۲/۴۷۵۶	۱۲/۳۲۷۰	۱۳/۴۹۹۱	۹/۶۶۷۹	۹/۲۵۶۶	۱۳/۴۸۹۹	فیلتربانک گابور لگاریتمی



شکل ۱۷ مقایسه عملکرد بهبود کیفیت تصویر با استفاده از فیلتربانک های مبتنی بر تابع تبدیل گابور. به ترتیب از چپ به راست: فیلتربانک پیشنهادی، فیلتربانک بهبودیافته، فیلتربانک استاندارد، فیلتربانک لگاریتمی

با توجه به اینکه تصاویر اثرانگشت از الگوهای کمافی شکل تشکیل شده‌اند، لذا در این مقاله توصیفگری جدید مبتنی بر تابع تبدیل گابور مطرح شده است. ابتدا فیلتربانک پیشنهادی بر روی تصویر ورودی اثرانگشت اعمال می‌شود، سپس پاسخهای فیلتربانک با وزنی یکسان با یکدیگر جمع شده و در نهایت تصویر بهبودیافته تولید می‌شود. نتایج بدست آمده از ارزیابی روش پیشنهادی برای بهبود کیفیت تصویر اثرانگشت را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- براساس معیار PSNR توصیفگر پیشنهادی نتایجی به مراتب بهتر برای بهبود تصویر اثرانگشت نسبت فیلتربانک‌های دیگر از خود نشان می‌دهد.
- روش پیشنهادی برای جدا کردن ناحیه اثرانگشت برای پایگاه داده DBII بسیار ساده در عین حال نسبتاً دقیق و قابل مقایسه با روش‌های پیچیده‌تر مطرح شده در مقاله‌های دیگر است.
- هرچقدر ابعاد فیلتر استفاده شده کوچکتر باشد، نتایج بدست آمده مطلوب‌تر می‌باشد. البته توجه به این نکته

همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار متوسط PSNR برای پایگاه‌های داده DBI مربوط به توصیفگر پیشنهادی با ابعاد فیلتر  $7 \times 7$  می‌باشد و برای پایگاه داده DBII زمانی به دست می‌آید که فیلتربانک پیشنهادی را با ابعاد  $17 \times 17$  اعمال کنیم. همانطور که مشاهده می‌شود چنانچه ابعاد فیلتر را بیشتر کنیم نتایج فیلتربانک گابور استاندارد بهتر می‌شود، اما کماکان نتایج توصیفگر پیشنهادی نیز قابل ملاحظه می‌باشد.

#### ۴- نتیجه گیری و کارهای آینده

اثرانگشت یکی از مهمترین زیست سنج‌های مطرح برای تأیید و تشخیص هویت بشمار می‌رود. تاکنون مقاله‌ها و منابع متعددی به این مقوله پرداخته‌اند و روش‌های گوناگونی مطرح شده است. در بسیاری از موارد به علت پایین بودن کیفیت اثرانگشت میزان خطا در سیستم‌های خودکار تأیید و یا تشخیص هویت بالا می‌رود. در این مقاله سعی بر آن شده است تا روشی مناسب برای بهبود کیفیت اثرانگشت‌های موجود در پایگاه‌های داده DBI و DBII ارائه گردد.

- [7] Zhang, Y. Jiao, Y. Li, J. Niu, X. "A Fingerprint Enhancement Algorithm using a Federated Filter" HIT, China, 2002.
- [8] Fronthaler, H. Kollreider, K. and Bigun, J. "Pyramid based Image Enhancement of Fingerprints", Halmstad University, SE-30118, Sweden, 2007.
- [9] Chikkerur, Sh. S. Cartwright, A. N. "Fingerprint Image Enhancement using STFT Analsis" Pattern Recognition, 40, pp. 198-211, 2007.
- [10] Raicevic, A. M. and Popovic, B. M., "An Effective and Robust Fingerprint Enhancement by Adaptive Filtering in Frequency Domain", FACTA Universities conference, 22, pp.91-104, 2009.
- [11] Misra, D. K. Tripathi, S.P. "Fingerprint Image Enhancement Based on Energy Minimisation Principle", IJCSC, 3, pp.165-170, 2012.
- [12] Bennet, D. and ArumugaPerumal, S., "Fingerprint: DWT, SVD Based Enhancement and Significant Contrast for Ridges and Valleys Using Fuzzy Measures", JCSE, 6, pp.36-42, 2011.
- [13] Arora, K. and Garg, P. "a Quantitative Survey of Various Fingerprint Enhancement Techniques" International Journal of Computer Application, 28, pp. 24-29, 2011.
- [14] Wang, W. Li, J, Huang, F. and Feng, H, "Design and implementation of Log-Gabor filter in fingerprint image enhancement" Pattern Recognition Letters, 29, pp. 301-308, 2008.
- [15] Yang, J. Liu, L. Jiang, T. and Fan, Y., "A modified Gabor filter design method for fingerprint image enhancement" Pattern Recognition Letters, 24 , pp. 1805-1817, 2003.
- [16] Haghghat M., Zonouz S., Abdel-Mottaleb M., "Identification Using Encrypted Biometrics" Computer Analysis of Images and Patterns, Springer Berlin Heidelberg, pp. 440-448, 2013.
- [17] قاصری، محمد، و ابراهیم‌نژاد، حسین، **بازیابی تصاویر جهره با استفاده از ترکیب هیستوگرام گرادیان و الگوی باینری محلی**، مجله تخصصی انجمن ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، ۱، ص. ۵۸-۶۸.
- [18] Wang W., Li J., Huang F, Feng H, "Design and implementation of Log-Gabor filter in fingerprint image enhancement" Pattern Recognition Letter, Vol. 29, pp. 301-308, 2008.
- [19] Ghiani, L. Hadid, A. Marcialis, G. L. and Roli, F. "Fingerprint liveness detection using Binarized Statistical Image Features" IEEE Sixth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS), pp. 1-6, 2013.
- [20] Liu, F. Zhao, Q. and Zhang, D. "A novel hierarchical fingerprint matching approach" Pattern Recognition, 44, pp. 1604-1613, 2011.

مهم است که نمی توان ابعاد فیلتر را بسیار کوچک در نظر گرفت.

- با توجه به نتایج بدست آمده برای تأیید و شناسایی هویت، توصیفگر پیشنهادی در ابعاد  $7 \times 7$  بهترین نتایج را ارائه می دهد.

کارهای آینده:

- فیلتر پیشنهادی می تواند بصورت پویا و مبتنی بر فرکانس محلی اعمال گردد.

- برای بالا بردن کیفیت تصویر، می توان پاسخ های فیلتر بانک پیشنهادی را به صورت وزندار جمع نمود، که این عمل می تواند بصورت هوشمند صورت پذیرد.

## سپاسگزاری

نویسندگان مقاله برخود لازم می دارند در اینجا از زحمات جنابان آقای پرفسور فابو رولی و دکتر جان لوکا مارچیاالیس از دانشگاه کالیاری کشور ایتالیا قدردانی کنند، که با نظرات گرانبهای خود نویسندگان را در تکمیل این مقاله همراهی نمودند.

## مراجع

- [1] Peralta, D. Triguero, I. Sanchez-Reillo, R. Herrera, F. and Benitez, J.M. "Fast fingerprint identification for large databases" Pattern Recognition, 47, pp. 588-602, 2014.
- [2] Peralta D., et al, "A survey on fingerprint minutiae-based local matching for verification and identification: Taxonomy and experimental evaluation" Information Sciences, 315, pp. 67-87, 2015.
- [3] Prabhakar, S. and Jain, A. K. "Decision-level fusion in fingerprint verification" Pattern Recognition, 32, pp. 861-874, 2002.
- [4] Cappelli, R. and Ferrara, M. "A fingerprint retrieval system based on level-1 and level-2 features" Expert Systems with Applications, 39, pp. 10465-10478, 2012.
- [5] Vatsa, M. Singh, R. Noore, A. and Houck, M.M. "Quality-augmented fusion of level-2 and level-3 fingerprint information using DS<sub>m</sub> theory" International Journal of Approximate Reasoning, 50, pp. 51-61, 2009.
- [6] Kim, B. Kim, H. and Park, D. "New Enhancement Algorithm for Fingerprint Images", IEEE proceedings, 4651, pp. 1051-1055, 2002.





**مهران تقی پور گرجی کلایی** متولد سال ۱۳۶۵ در شهرستان ساری می باشد. ایشان در سال ۱۳۸۷ موفق به اخذ مدرک کارشناسی در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک از دانشگاه مازندران شده اند. سپس در سال ۱۳۹۰ با کسب رتبه اول در

رشته مهندسی برق-الکترونیک در مقطع کارشناسی ارشد از دانشگاه بیرجند فارغ التحصیل شدند. هم اکنون ایشان در مقطع دکتری رشته مهندسی برق-الکترونیک گرایش سیستم در دانشگاه بیرجند در حال تحصیل می باشند. ایشان تاکنون موفق به چاپ بیش از ۱۵ مقاله با نمایه های ISI و ISC و همچنین در بیش از ۱۰ کنفرانس بین المللی موفق به ارائه مقاله شده اند. علاقه مندی تحقیقاتی ایشان عبارتند از: بازشناسی الگو و کاربردهای آن، پردازش تصویر، سیستم های هوشمند و سیستم های تشخیص هویت بیومتریک



**سیدمحمد رضوی** در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (واحد تفرش) اخذ نمود و در سالهای ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه تربیت مدرس دانش آموخته شده است. از سال ۱۳۷۶ به عنوان

عضو هیات علمی در دانشگاه بیرجند مشغول انجام وظیفه است. وی هم اکنون دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند است. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: بازشناسی الگو، پردازش تصویر و سیستم های هوشمند



**ناصر مهرشاد** در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی خود را از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ نمود و در سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۸۲ در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در دانشگاه تربیت مدرس گرایش مهندسی پزشکی دانش آموخته شد و هم اکنون عضو هیات علمی گروه مهندسی الکترونیک دانشگاه بیرجند به عنوان دانشیار مشغول فعالیت میباشد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل ماشین بینایی، پردازش سیگنال دیجیتال و اطلاعات مهندسی پزشکی است.

- [21] Yinping, M. and Yongxing, H., "Adaptive Threshold Based on Wavelet Transform Fingerprint Image Denoising" IEEE International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE), Hangzhou, pp. 494-497, 2012.
- [22] Kannala, J. and Rahtu, E. "BSIF: Binarized Statistical Image Features" 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Tsukuba, pp. 1362-1366, 2012.
- [23] Greenberg, S. Aladjem, M. Kogan, D. and Dimitrov, I. "Fingerprint image enhancement using filtering techniques", ICPR, 3, pp. 326-329, 2000.
- [24] Wu, Ch. Shi, Zh. and Govindaraju, V. "Fingerprint image Enhancement method using directional median Filter", Elsevier Science, pp. 250-256, 2004.