

# معرفی الگوریتمی جدید برای حل مشکل عینک در شناسایی صورت با تصاویر مادون قرمز حرارتی

حامد کماری علائی<sup>۱\*</sup>، مرتضی خادمی<sup>۲</sup>

۱- کارشناسی ارشد برق مخابرات، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه فردوسی مشهد

[hamedkomari@yahoo.com](mailto:hamedkomari@yahoo.com)

(دریافت مقاله: ۸۸)

**چکیده**- شناسایی صورت از طریق تصاویر مادون قرمز حرارتی یکی از جدیدترین راهکارهای شناسایی صورت بوده و هم اکنون مورد توجه بسیاری از محققان می‌باشد. این شناسایی که از طریق ثبت ویژگیهای دمایی و چگونگی موقعیت رگهای صورت انسان انجام می‌شود دارای مزیت‌های بسیاری نسبت به روش‌های مبتنی بر تصاویر مرئی متداول می‌باشد. در این تصاویر اثر تغییرات نور محیط که یکی از مهمترین معضلات شناسایی صورت در تصاویر مرئی است مرتفع می‌شود. مهمترین مشکل شناسایی در تصاویر مادون قرمز حرارتی وجود موانع انتشار مانند عینک بوده که مانع استخراج دقیق موقعیت رگهای صورت می‌گردند. در این تحقیق، برای اولین بار الگوریتمی پیشنهاد شده است که این مشکل نیز تا حد زیادی برطرف می‌گردد. در این مقاله جهت استخراج ویژگی صورت از موقعیت انشعاب رگها استفاده شده است. همچنین با انتخاب دسته‌بندی مناسب، رگهای قلبی و انشعابات نادرست حذف شده‌اند. از طرفی با استفاده از الگوریتم تطبیق زمانی پویا بهترین بردارهای ویژگی استخراج می‌شوند. با بررسی نتایج شبیه‌سازی شده بر روی بانک داده UTK-IRIS نرخ شناسایی بر روی تصاویر با عینک ۹۵٪ است که نسبت به بهترین نتایج بدست آمده قبلی در بانک داده یکسان، حدود ۱۰٪ بهتر می‌باشد.

**کلید واژگان:** شناسایی صورت، تصاویر مادون قرمز حرارتی، رگهای صورت، الگوریتم تطبیق زمانی پویا

## ۱- مقدمه

ماشین و محیط‌های فعال در حوزه علم بینایی ماشین است. در سالهای اخیر شناسایی صورت در زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط با بیومتریک، شناسایی الگو و بینایی ماشین مورد

شناسایی صورت و اجزای تشکیل دهنده آن یکی از مهمترین رویکردهای تسهیل کننده ارتباط میان انسان و

• **ناتوانی در تشخیص بین تصویر واقعی و غیر**

**واقعی:** در تصاویر مرئی هر شکلی که خاصیت ظاهری صورت را داشته باشد به عنوان چهره شناخته شده و پردازش می‌شود. بنابراین شناسایی بر اساس تصاویر مرئی بطور کامل نمی‌تواند نقش خود را بخوبی انجام دهد.

با توجه به ضعفهای تصاویر مرئی، تلاش‌های پژوهشی بسیاری در شناسایی صورت در باند امواج مادون قرمز حرارتی (IR<sup>2</sup>) انجام شده است [4]. شناسایی در این روش بر اساس ثبت توزیع حرارتی بافت صورت هر فرد بوده و بنابراین محدودیت تصاویر مرئی را ندارد. در این تصاویر تغییرات نور محیط بر روی تصویر بی اثر بوده و خطای شناسایی را کاهش می‌یابد. همچنین به علت وجود ماهیت دما تصاویر تقلبی قابل شناسایی است زیرا با بررسی میزان حرارت هر صورت و با مقایسه آنها با یک سطح آستانه مشخص، می‌توان به واقعی (صورت گرم‌تر) و یا تقلبی بودن (صورت سردتر) تصویر پی برد.

یکی از جدیدترین روشهای شناسایی صورت استفاده از رگ‌های صورت می‌باشد. رگهای صورت، ویژگی منحصر به فردی را به وجود می‌آورند و با مقایسه این ویژگی‌ها صورت قابل شناسایی است [5]. همچنین از تصاویر مادون قرمز حرارتی نیز بصورت مستقیم جهت شناسایی صورت استفاده شده است. در این روشها الگوریتم‌های متداول شناسایی صورت در حوزه تصاویر مرئی بکار رفته است، از اینرو مشکلاتی مانند وجود عینک شناسایی صحیح را با خطا روبرو می‌نماید [6]. جدیدترین راهکاری که در حوزه

توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. همچنین در برخی کاربردهای تجاری و امنیتی نیز روشهای شناسایی صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند [1] و [2]. برای مثال، شناسایی مجرمین، سیستمهای مراقبت و امنیت و کاربردهایی نظیر آنها، از جمله مواردی است که در این حیطه می‌گنجد و بنابراین شناسایی صحیح صورت می‌تواند نقش موثری در نحوه اجرای آنها ایفا نماید.

علاوه بر شناسایی با کمک صورت، روشهای شناسایی دیگری نیز وجود دارند که از آن جمله می‌توان به شناسایی از طریق اثرانگشت، دست، صدا، چشم، گوش و امضا اشاره کرد. در هر روش شناسایی، نیاز به برداشت اطلاعات متفاوتی است که می‌توان آنها را بر حسب عواملی از جمله میزان همکاری شخص، دقت، هزینه و راحتی اندازه‌گیری دسته‌بندی نمود. شناسایی با کمک تصاویر صورت بدلیل اینکه نیاز به همکاری حداقلی از طرف کاربر دارد مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

همواره مشکلات فراوانی در مقابل شناسایی صورت مبتنی بر تصاویر مرئی وجود دارد. از جمله مهمترین این مشکلات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [3]:

- **تغییر پذیری زیاد در حالات صورت:** تغییرات حالات صورت مانند خندیدن، ناراحتی و... مواردی هستند که شناسایی در حوزه مرئی را با مشکل مواجه می‌کنند.
- **تغییرات نور:** تغییر نور در تصاویر مرئی یکی از مهمترین عوامل در شناسایی نادرست تصاویر مرئی است. این عامل کاملاً تحت تاثیر شرایط محیطی می‌باشد.

1. Fake image
2. Infrared

طرف شده است. در این تحقیق، شناسایی در دو مرحله تشکیل بانک تصاویر بهترین نقاط خاص حرارتی (BTMPs<sup>4</sup>) و عملیات بهنگام انجام می‌شود. مرحله اول که در شکل (۱) نشان داده شده است، از تصاویر حرارتی موجود (چهار تصویر برای هر فرد)، تصاویر نقاط خاص حرارتی (TMP<sup>5</sup>) استخراج شده و بهترین نقاط برای هر فرد ذخیره می‌شوند. در مرحله دوم، که در شکل (۲) نشان داده شده است، از فرد مورد آزمون<sup>6</sup> به صورت بهنگام تصویر برداری حرارتی شده و پس از استخراج تصویر TMP، با تصاویر موجود در بانک تصاویر BTMPs مقایسه می‌شود.

در قسمت‌های بعدی، روشهای مورد استفاده و پیشنهادی برای پیاده‌سازی بلوک‌های شکل (۱) و شکل (۲) بطور کامل تشریح می‌گردند. در پایان نیز، نتایج شبیه‌سازی بیان شده و نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

بطور کلی مراحل شناسایی که در شکل (۱) و شکل (۲)

نشان داده شده است، به شرح زیر است:

۱- **قسمت‌بندی صورت:** هر تصویر مادون قرمز حرارتی از دو ناحیه صورت و پشت‌زمینه تشکیل شده است. در این مرحله صورت به علت داشتن حرارت بیشتر نسبت به محیط اطراف روشن‌تر بوده و از پشت‌زمینه جدا می‌شود.

۲- **تصحیح خطای قسمت‌بندی:** در مرحله قسمت‌بندی صورت، نواحی از صورت (مثل بینی و چانه) که حرارت کمتری نسبت به مناطق دیگر

شناسایی صورت با استفاده از رگها انجام شده در [7] مطرح گردیده است. در این مقاله مقایسه رگهای صورت با استفاده از الگوریتم ICP انجام و باعث کاهش خطا شده ولی عامل عینک هنوز مشکل ساز بوده و برطرف نشده است.

مستقل از اینکه تصاویر مرئی یا تصاویر مادون قرمز حرارتی مورد استفاده قرار گیرند، شناسایی صورت را می‌توان به سه مرحله قسمت‌بندی صورت<sup>۱</sup>، استخراج ویژگی<sup>۲</sup> و تطبیق ویژگی<sup>۳</sup>ها تفکیک نمود. در مرحله قسمت‌بندی صورت، ناحیه حاوی پیکسل‌های صورت از پس‌زمینه جدا می‌شود. در مرحله استخراج ویژگی‌ها، آن دسته از اطلاعات موثری که برای تشخیص و تمیز دادن اختلاف بین صورت دو فرد وجود دارد، به عنوان ویژگی استخراج می‌شود. در مرحله تطبیق ویژگی‌ها، بردار حاوی ویژگی‌های استخراج شده با بردارهای ویژه تصاویر مرجع که در پایگاه داده وجود دارند، مقایسه می‌شود.

در روش پیشنهادی که بر اساس شناسایی رگهای صورت در تصاویر مادون قرمز حرارتی می‌باشد، ویژگی‌هایی مانند تاثیر ناپذیر بودن تصاویر نسبت به نور محیط و تشخیص تصاویر واقعی از تقلبی تامین می‌گردد. از طرفی به علت پابندی تصاویر مادون قرمز حرارتی به موقعیت رگها، عامل کهولت نیز تاثیر ناچیزی بر نتایج دارد [5]. مشکل مهم در شناسایی صورت تصاویر مادون قرمز حرارتی، وجود عینک در تصاویر می‌باشد. عینک مانع از انتشار امواج مادون قرمز حرارتی شده و از این رو شناسایی را با چالش روبرو می‌نماید. با توجه به الگوریتم پیشنهادی عامل عینک بر

4. Best Thermal Minutia Point  
5. Thermal Minutia Point  
6. Probe

1. Face segmentation  
2. Feature extraction  
3. Feature matching

۷- **تشکیل بانک BTMPs**: تصاویر حاصله هر شخص در مرحله قبلی به تصاویر  $80 \times 100$  تغییر اندازه داده شده و با هم جمع می‌شوند. تصویر حاصله BTMPs نامیده می‌شود.

۸- **مقایسه**: تصاویر موجود در بانک BTMPs با تصویر TMP شخص مورد آزمون که به تصویر  $80 \times 100$  تغییر اندازه داده شده است مقایسه شده و در صورت وجود شبیه‌ترین تصویر از بانک تصاویر BTMPs انتخاب می‌گردد. چنانچه میزان شباهت از یک سطح آستانه کمتر بود، سامانه پیشنهادی عدم شناسایی را اعلام می‌کند. ادامه این تحقیق در سه قسمت سازمان‌دهی شده است. در قسمت دوم سیستم پیشنهادی برای شناسایی تصاویر مادون قرمز حرارتی بر اساس رگهای صورت بیان شده است. در قسمت سوم نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی، بر روی پایگاه داده، بیان می‌شود. همچنین نتایج بدست آمده با نتایج دو مرجع مورد مقایسه قرار گرفته است. فصل چهارم نیز به جمع‌بندی تحقیق پرداخته شده است.

## ۲- سیستم پیشنهادی

در این فصل، سیستم پیشنهادی بصورت کامل بیان شده است. هدف اصلی راهکار معرفی شده نحوه کاهش اثر عینک به عنوان بزرگترین مانع بر سر راه شناسایی صورت در تصاویر مادون قرمز حرارتی بوده است.

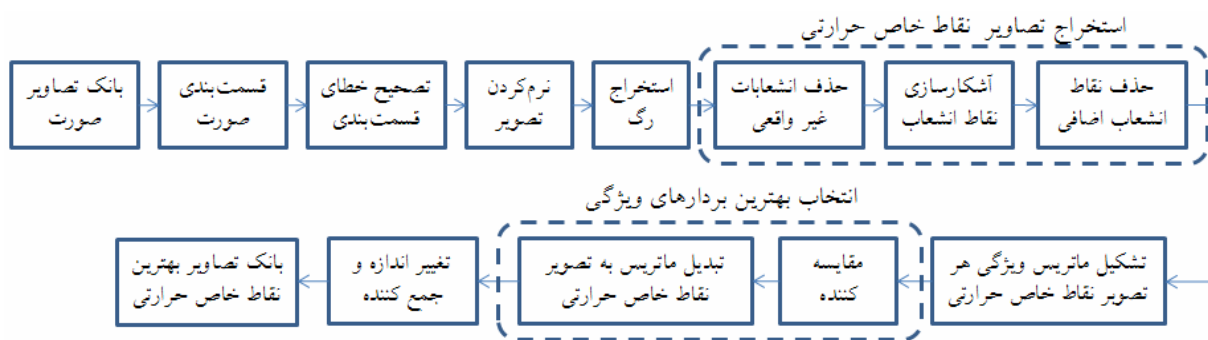
دارند اشتباها به عنوان پشت‌زمینه و لباس‌ها که دمای نزدیک به دمای صورت دارند اشتباها به عنوان ناحیه صورت انتخاب خواهند شد. در این مرحله این خطاها بر طرف می‌شوند.

۳- **نرم کردن تصویر صورت و استخراج رگ**: پس از استخراج ناحیه صورت از تصویر، رگهای صورت بوسیله الگوریتم شکل‌شناسی استخراج می‌شوند. جهت استخراج بهتر رگها، قبل از استخراج رگ، تصویر صورت، نرم می‌گردد.

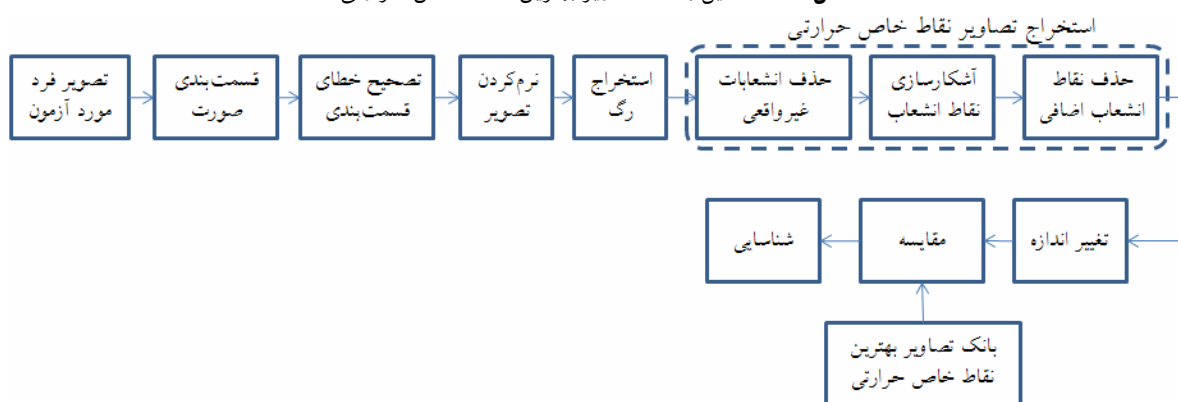
۴- **استخراج تصاویر TMP**: پس از استخراج رگ، انشعابات غیرواقعی که بواسطه اعمال الگوریتم بیز و فیلتر نرم‌کننده بوجود می‌آیند حذف شده و سپس نقاط انشعاب استخراج می‌گردند. از طرفی برخی از نقاط انشعاب مربوط به رگها نبوده و در مرحله حذف نقاط انشعاب اضافی، حذف می‌شوند. پس از حذف این نقاط، تصاویر TMP استخراج می‌گردند.

۵- **تشکیل ماتریس ویژگی برای هر تصویر TMP**: ماتریس ویژگی برای هر تصویر TMP بر اساس زاویه قرارگیری TMPها نسبت به هم تشکیل می‌گردد.

۶- **انتخاب بهترین بردارهای ویژگی**: پس از استخراج ماتریسهای ویژگی، بردارهای تشکیل دهنده این ماتریسها که متعلق به یک شخص می‌باشند، با یکدیگر مقایسه شده و بهترین آنها انتخاب می‌شوند. این بردارها دوباره به تصویر تبدیل می‌گردند.



شکل (۱): تشکیل بانک تصاویر بهترین نقاط خاص حرارتی



شکل (۲): عملیات بهنگام تشخیص صورت

## ۱-۲ قسمت بندی

حرارتی، حاصل از دمای بدن انسان و دمای محیط می باشد، بنابراین در صورت شناسایی دقیق ویژگی های فیزیولوژیکی صورت انسان، می توان میزان تاثیرات پس زمینه در قسمت بندی صورت را کاهش داد.

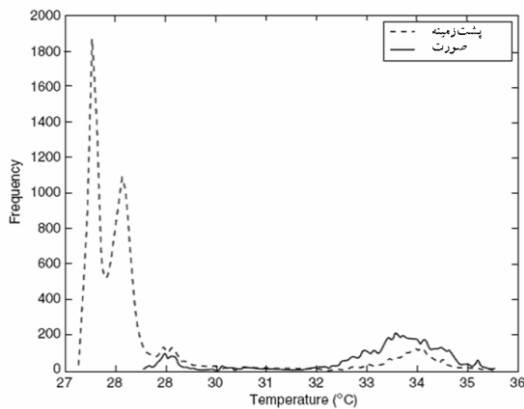
در این تحقیق، جهت قسمت بندی صورت در تصاویر مادون قرمز از الگوریتم پیشنهادی در [5] (بیز) استفاده شده است. به علت توزیع دمایی تقریباً یکسان صورت انسانها، (بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد) این الگوریتم کارایی خوبی در قسمت بندی صورت از خود نشان داده است. جهت قسمت بندی صورت، ابتدا توزیع دمایی صورت و پس زمینه

بنا به خاصیت فیزیولوژیکی، صورت انسان از مناطق گرم و سرد تشکیل شده است. مناطق گرم حاصل مناطقی از بافت هستند که رگ های خونی بیشتری از آنجا عبور می کنند (مثل کاسه چشم و پیشانی). مناطق سرد نیز حاصل مناطقی از بافت هستند که رگ های خونی کمتری از آنجا عبور می کنند (مثل چانه، لب و گونه ها در شکل (۳)). مناطقی مثل دیوارها و یا لباس ها، که در تماس با بدن انسان هستند و دمایی نزدیک بدن انسان دارند، به عنوان پس زمینه محسوب خواهند شد. توزیع دمایی در تصاویر مادون قرمز

حداکثر شباهت<sup>۱</sup> استفاده شده است [8]. این الگوریتم برای تخمین پارامترهای (1)، به آموزش نیاز دارد. داده آموزش شامل نواحی پس‌زمینه و صورت بوده که برای تامین آنها به ترتیب دو و سه تصویر حرارتی، بصورت دستی انتخاب می‌شوند. شکل (5) نمونه‌ای از داده آموزش را نشان می‌دهد. در این تحقیق، نواحی پس‌زمینه، موها و لباس‌ها و نواحی صورت بین پیشانی و چانه انتخاب شده است. با بررسی توزیع پیشین و بر اساس منطق زیر، زیر ناحیه صورت ( $H_0$ ) از پس‌زمینه ( $H_1$ ) تفکیک می‌شود:

$$\begin{cases} \text{if } p(s|x) > \frac{1}{\gamma} \Rightarrow \text{Accept } H_1 \\ \text{if } p(s|x) \leq \frac{1}{\gamma} \Rightarrow \text{Accept } H_0 \end{cases}$$

شکل (6) نتیجه اعمال الگوریتم بیز آموزش داده شده روی یک تصویر را نمایش می‌دهد.



شکل (۵): هیستوگرام تصویر حرارتی صورت [5]

بر اساس مقادیر نمودار هیستوگرام رسم شده و سپس با استفاده از دو تابع گوسی، توزیع دمایی صورت و پس‌زمینه تخمین زده می‌شوند. در شکل (۴) نمودار هیستوگرام تصویر حرارتی صورت نشان داده شده است.



شکل (۳): تصویر حرارتی از صورت انسان

در این الگوریتم، چنانچه  $\theta$  معرف برچسب صورت ( $S$ )

و یا پس‌زمینه ( $b$ ) و  $x$  عضوی از بردار ورودی از پیکسلها باشد توزیع پسین  $\pi(\theta)$ ، احتمال وقوع پس‌زمینه و صورت، تابع چگالی گوسی  $f(x|\theta)$  احتمال وقوع مقدار  $x$  در ناحیه  $\theta$  بوده و توزیع پیشین  $p(\theta|x)$  بر اساس زیر تعریف می‌شود:

$$p(\theta|x) = \frac{\pi(s)f(x|s)}{\pi(s)f(x|s) + \pi(b)f(x|b)}$$

همچنین تابع چگالی گوسی  $f(x|\theta)$  نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f(x|\theta) = \sum_{i=1}^{\gamma} \omega_{\theta_i} N(\mu_{\theta_i}, \sigma_{\theta_i}^2) \quad (1)$$

در این تحقیق، جهت تخمین پارامترهای تابع گوسی  $f(x|\theta)$  از الگوریتم تخمین‌زن

## 1. Maximum likelihood estimation

هر تصویر مشخص می‌گردند. تعداد پیکسل‌های ناحیه  $i$  ام در متغیر  $R_s(i)$  و  $R_b(i)$  ذخیره شده و با توجه به رابطه زیر مقدار حداکثر آنها انتخاب می‌شود:

$$R_s^{\max} = \max\{R_s(i), i = 1, 2, \dots, N_s\}$$

$$R_b^{\max} = \max\{R_b(i), i = 1, 2, \dots, N_b\}$$

در این روش، برچسب آن دسته از زیرنواحی‌های صورت که شرط  $R_s(i) < R_s^{\max}/5$  را ارضا می‌کنند، با پس-زمینه عوض می‌شود. همچنین برچسب آن دسته از زیرنواحی‌های پس‌زمینه که شرط  $R_b(i) < R_b^{\max}/5$  را ارضا می‌کنند، با برچسب صورت جابه‌جا می‌گردد. عدد ۵ بصورت تجربی انتخاب شده، زیرا زیرناحیه‌ای که تعداد پیکسل‌هایش از مقدار  $R_b^{\max}$  (برای ناحیه پس‌زمینه) و یا  $R_s^{\max}$  (برای ناحیه صورت) کمتر باشد، به واسطه خطای قسمت‌بندی بوجود آمده و می‌بایست برچسب آن تغییر کند. شکل (۷) نتیجه تصحیح خطای قسمت‌بندی بر روی شکل (۶-ب) را، بر اساس روش فوق نشان می‌دهد.

### ۳-۲- هموار کردن تصویر

پس از جداسازی تصویر صورت از پس‌زمینه می‌توان مستقیماً رگها را استخراج کرد اما جهت تحقق بهتر این هدف، در این تحقیق از فیلتر هموارکننده پیشنهاد شده در [5]، نیز استفاده شده است. این فیلتر به نحوی طراحی شده تا مرزها مشخص‌تر شوند و جزئیات مهم تصویر حفظ گردند. نحوه هموار کردن تصویر به صورت زیر بیان می‌شود:



شکل (۵): انتخاب نواحی پس‌زمینه و صورت در داده آموزش (مربع سیاه معرف صورت و مربع سفید معرف پس‌زمینه)

### ۲-۲- تصحیح خطای قسمت‌بندی

گاهی اوقات الگوریتم بیز به اشتباه، ناحیه‌هایی از صورت (مثل بینی و چانه) را که حرارت کمتری نسبت به مناطق دیگر دارند به عنوان پس‌زمینه و لباس‌ها که دمایی نزدیک به دمای صورت دارند را به عنوان ناحیه صورت انتخاب می‌کند. جهت از بین بردن این مشکل در تصاویر مادون قرمز حرارتی از روش پیشنهادی در [5] استفاده شده است. در ابتدا تمام نواحی تصویر به دو قسمت پس‌زمینه با برچسب  $b$  و ناحیه صورت با برچسب  $s$  علامت گذاری شده و نواحی صورت و پس‌زمینه به  $N_b$  و  $N_s$  زیر ناحیه تقسیم می‌شوند. تعداد این زیرناحیه‌ها با توجه به شرایط



(الف)

(ب)

شکل (۶): قسمت‌بندی صورت، (الف) تصویر اولیه، (ب) نتیجه قسمت‌بندی با الگوریتم بیز

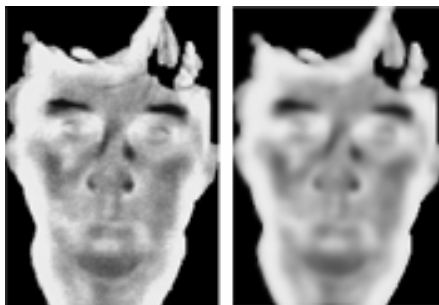
استخراج رگها، به مانند [5] از روش  $WTH^1$  استفاده شده است. در این روش ابتدا عملگر باز بر روی تصویر صورت اعمال شده و نتیجه ( $I_{open}$ ) از تصویر اولیه تفریق می‌گردد.

اگر  $I$  تصویر هموار شده، ( $\circ$ ) عملگر باز،  $I_{open}$  تصویر باز

شده و  $I_{WTH}$  تصویر رگهای صورت باشد، داریم:

$$I_{open} = I \circ S, \quad I_{WTH} = I - I_{open}$$

$S$  نیز که باعث استخراج دقیق‌تر رگهای صورت و نقاط انشعاب می‌شود عنصر ساختار<sup>2</sup> بوده و در این تحقیق بصورت ماتریس زیر پیشنهاد شده است:



(الف) (ب)

شکل (۸): هموارکردن تصویر: (الف) تصویر اولیه (شکل ۷)-

(ب) و (ب) خروجی فیلتر در  $t=40$

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

پس از اعمال الگوریتم  $WTH$ ، با نازک‌سازی تصویر، رگها استخراج می‌شوند. شکل (۹) نمونه‌ای از استخراج رگهای صورت پس از نازک‌سازی را نشان می‌دهد.

$$I_{t+1}(x, y) = I_t + \lambda [c_{N,t}(x, y) \nabla I_{N,t}(x, y) + c_{S,t}(x, y) \nabla I_{S,t}(x, y) + c_{E,t}(x, y) \nabla I_{E,t}(x, y) + c_{W,t}(x, y) \nabla I_{W,t}(x, y)]$$

که  $I$  تصویر اولیه و ضرایب  $c$  از چهار جهت مختصات شمال (N)، جنوب (S)، شرق (E) و غرب (W) نسبت به موقعیت  $(x, y)$  محاسبه می‌شوند. به طور مثال ضرایب در امتداد محور شمال به صورت زیر می‌باشد:

$$c_{N,t}(x, y) = \exp\{-\nabla I_{N,t}'(x, y) / k'\},$$

$$\nabla I_{N,t} = I_t(x, y+1) - I_t(x, y)$$

در این تحقیق  $k$  برابر  $1.00$ ،  $\lambda$  برابر  $0.05$  و تعداد تکرار  $40$  بار انتخاب شده است. این مقادیر به نحوی انتخاب شده‌اند تا علاوه بر حذف نویز تصویر، رگهای صورت برجسته‌تر شوند. شکل (۸) نتیجه اعمال فیلتر هموارکننده بر روی تصویر مادون قرمز حرارتی را نشان می‌دهد.



(الف) (ب)

شکل (۷): تصحیح خطای قسمت‌بندی صورت، (الف) تصویر قسمت‌بندی شده (شکل ۶-ب) و (ب) نتیجه تصحیح خطای قسمت‌بندی

## ۲-۴- استخراج رگ

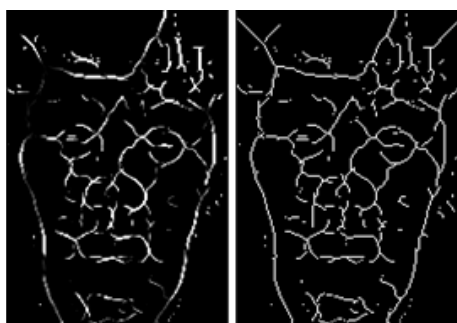
با عبور تصویر صورت از فیلتر هموارکننده، شرایط برای استخراج رگها آماده‌تر شده است. در این تحقیق جهت

1. White top hat
2. Structure element

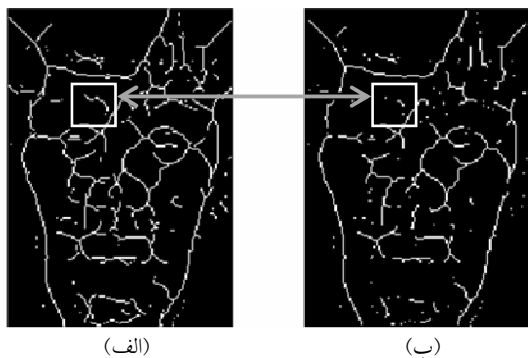


$$CN(P) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=1}^{\Lambda} |Val(P_{i \bmod \Lambda}) - Val(P_{i-1})|$$

که در آن  $P_0$  تا  $P_7$  پیکسل‌های کشیده شده به دور نقطه  $P$  در یک همسایگی هشت‌تایی بوده و  $Val(P_i)$  مقدار ۱ (رگها) یا صفر (غیر رگ) را نشان می‌دهد. اگر  $CN(P)$  مقداری بزرگتر از ۲ باشد،  $P$  نقطه انشعاب نامیده می‌شود. شکل (۱۱) نتیجه اعمال الگوریتم ضربدری را نشان می‌دهد.



شکل (۹): استخراج رگهای صورت، (الف) اعمال الگوریتم WTH بر شکل (۸-ب) و (ب) نتیجه نازک‌سازی



شکل (۱۰): حذف انشعابات غیرواقعی، (الف) تصویر اولیه (شکل ۹-ب) و (ب) نتیجه هرس کردن

## ۲-۵- حذف انشعابات غیرواقعی

پس از استخراج رگها، نوبت به مرحله استخراج تصاویر TMP می‌رسد. TMPها از تصاویر رگها انتخاب می‌شوند. این نقاط خاص، محل انشعاب و تداخل رگها می‌باشند اما، برخی از انشعابها متعلق به رگها نبوده و بواسطه اعمال الگوریتم بیز و فیلتر هموارکننده بوجود می‌آیند. جهت حذف این انشعابات، در این تحقیق عملگر شکل‌شناسی هرس کردن<sup>۱</sup> پیشنهاد شده است. الگوریتم هرس کردن باعث حذف شاخه‌های کوتاه در تصویر رگ شده و میزان خطا در انتخاب TMP را کاهش می‌دهد. در این تحقیق، جهت حذف این شاخه‌ها المانهای زیر پیشنهاد شده است:

$$B^1 = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ \times & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^2 = \begin{bmatrix} \times & 1 & \times \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \times \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \times \end{bmatrix}$$

$$B^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \times & 1 & \times \end{bmatrix}, \quad B^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

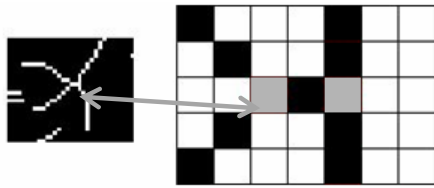
$$B^7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^8 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

شکل (۱۰) یک نمونه از نتیجه اعمال این روش بر روی تصویر رگ را نشان می‌دهد.

## ۲-۶- آشکارسازی نقاط انشعاب

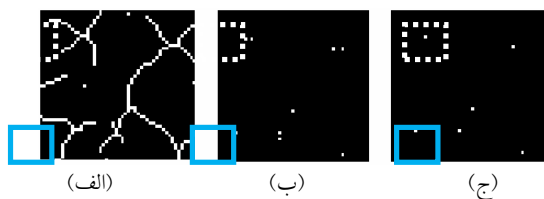
در این تحقیق، نقاط انشعاب توسط الگوریتم ضربدری ( $CN^2$ ) که در [9] جهت استخراج نقاط انشعابات اثر انگشت استفاده شده آشکار می‌گردند. اگر  $P$  نقطه‌ای از رگها باشد طبق الگوریتم ضربدری، ابتدا مقدار زیر برای آن نقطه محاسبه می‌گردد:

1. Pruning
2. Crossing Number



شکل (۱۲): خطای انتخاب به علت نقاط انشعاب اضافی نوع اول

همانطور که گفته شد در الگوریتم استخراج رگ، مرز ابروها، موها و عینک نیز به اشتباه به عنوان رگ استخراج شده و نقاط انشعاب حاصل از این رگها (نقاط انشعاب اضافی نوع دوم) باعث افزایش خطای شناسایی می‌گردند. اگر نقطه انشعاب، حاصل از رگهای صورت نباشد، در همسایگی این نقطه، دما به سرعت کاهش می‌یابد. از اینرو با بررسی تغییرات دمای همسایگی هر نقطه می‌توان واقعی و یا غیرواقعی بودن هر نقطه را مشخص نمود. جهت حذف نقاط حاصل از این مرزها از الگوریتم متوسط  $K=7$  [7] استفاده شده است. با استفاده از این الگوریتم، همسایگان هر نقطه انشعاب به دو گروه<sup>۲</sup> تقسیم و مراکز آنها مشخص می‌شوند. اگر فاصله اقلیدسی مراکز دو گروه مربوط به یک نقطه، از یک سطح آستانه کمتر باشد آن نقطه غیرواقعی است. در این تحقیق تعداد گروه‌ها برابر دو ( $K=2$ ) و شعاع همسایگی هر نقطه، ۹ پیکسل پیشنهاد شده است. همچنین سطح آستانه بصورت تجربی و برابر ۹۰ انتخاب می‌شود.

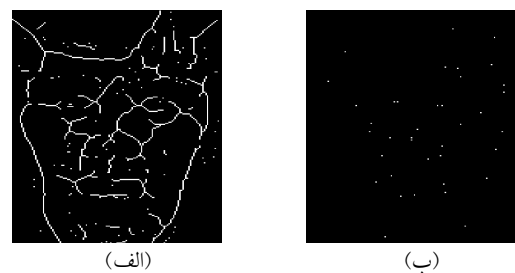


شکل (۱۳): حذف نقاط انشعاب اضافی نوع اول، (الف) تصویر رگها، (ب) خروجی الگوریتم ضربدردی و (ج) حذف نقاط انشعاب اضافی

## ۲-۷- حذف نقاط انشعاب اضافی

با آشکارسازی نقاط انشعاب کار استخراج تصاویر TMP پایان نمی‌یابد. در این مرحله هنوز دو نوع از انواع انشعابات اضافی و منبع خطای شناسایی در تصاویر TMP وجود دارند. نوع اول نقاط انشعاب آشکار شده، در یک همسایگی نزدیک به یکدیگر بوده و نوع دوم نقاط انشعاب حاصل از مرز ابروها، موها و عینک می‌باشد.

برخی از نقاط انشعاب آشکار شده، در یک همسایگی نزدیک به یکدیگر می‌باشند. این نقاط پس از نازک‌سازی تصویر رگ، ایجاد شده و در صورت انتخاب، باعث افزایش خطا و زمان محاسبات خواهند شد. شکل (۱۲) نمونه‌ای از این نقاط را نمایش می‌دهد. در این شکل، الگوریتم ضربدردی، دو نقطه خاکستری را به عنوان نقاط انشعاب انتخاب می‌کند در حالی که این دو نقطه، معرف یک نقطه انشعاب می‌باشند. در این تحقیق جهت از بین بردن این مشکل، حذف تمام همسایگان هر نقطه به شعاع ۳ خانه پیشنهاد شده است. شکل (۱۳) نتیجه حذف اینگونه نقاط انشعاب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، دو نقطه داخل مربع نقطه‌چین به یک نقطه تبدیل شده‌اند.



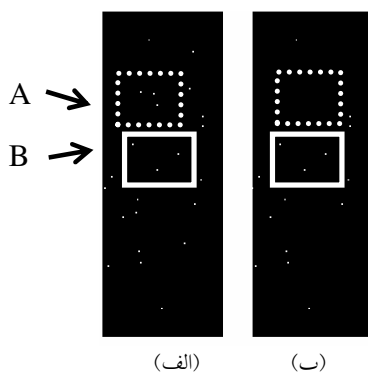
شکل (۱۱): آشکارسازی نقاط انشعاب، (الف) تصویر اولیه (شکل ۱۰-ب) و (ب) خروجی الگوریتم ضربدردی

1. K-mean clustering
2. Cluster

باشد، نحوه ایجاد بردار ویژگی برای نقطه خاص حرارتی  $a$  از تصویر  $z$  ام به صورت زیر می باشد:

$$\vec{a}_j = [\theta_b^a \quad \theta_c^a \quad \theta_d^a \quad \dots]_{1 \times n-1},$$

$$\theta_i^a = \arctan\left(\frac{y_a - y_i}{x_a - x_i}\right) \quad i = b, c, \dots, g \quad i \neq a$$



شکل (۱۴): حذف نقاط انشعاب اضافی ناشی از مرز موهای سر (نوع دوم)، (الف) تصویر اولیه، (ب) نتیجه اعمال الگوریتم دسته-بندی متوسط  $K$

که  $x_i$  و  $y_i$  مختصات نقطه خاص حرارتی  $i$  ام می باشد. این بردار برای تمام TMPها محاسبه می شود. در نهایت ماتریس ویژگی تصویر  $z$  ام متشکل از بردارهای ویژگی هر TMP به صورت زیر تشکیل می گردد:

$$I_{n \times (n-1)}^j = [\vec{a}_j, \vec{b}_j, \vec{c}_j, \dots]^T$$

## ۹-۲- انتخاب بهترین بردارهای ویژگی

برخی از TMPهای استخراج شده از تصاویر رگها، نه تنها باعث شناسایی صحیح صورت نمی شوند، بلکه خطای شناسایی را افزایش می دهند. این نقاط، به واسطه پایین بودن

شکل (۱۴) یک نمونه از اجرای این فرایند را نشان می دهد. در شکل (۱۴-الف) مجموعه  $A$  نقاط انشعاب حاصل از موهای سر (انشعاب غیرواقعی) و مجموعه  $B$  نقاط انشعاب حاصل از تداخل رگها (انشعاب واقعی) می باشد. شکل (۱۴-ب) یک نمونه از نتیجه اعمال الگوریتم دسته-بندی متوسط  $K$  و حذف نقاط انشعاب نوع دوم در مجموعه  $B$  را نشان می دهد. جدول (۱) نیز نتیجه عددی دسته بندی متوسط  $K$  بر روی همسایگان صرفاً یک نقطه از مجموعه  $A$  و صرفاً یک نقطه از مجموعه  $B$  در شکل (۱۴) را بیان می کند. مقادیر نشان داده شده در این جدول بر اساس ارزش سطوح خاکستری نقاط تصویر محاسبه شده اند. همانطور که مشاهده می شود، اختلاف مراکز دو گروه در مجموعه  $B$  کمتر از مجموعه  $A$  می باشد. اگر اختلاف مراکز دو گروه از ۹۰ کمتر باشد (مانند مجموعه  $B$ ) آن نقطه واقعی است. شکل (۱۵) یک نمونه از TMPهای بدست آمده پس از حذف هر دو نوع نقاط انشعابی اضافی را نشان می دهد.

## ۸-۲- تشکیل ماتریس ویژگی هر تصویر TMP

برای انجام مرحله ویژگی، نیازمند به استخراج برداری متناسب با هر TMP می باشیم. در این تحقیق بردار پیشنهادی شامل زاویه تشکیل دهنده هر TMP با تمام TMPهای دیگر می باشد. زاویه ها عددی بین ۱۸۰- تا ۱۸۰+ تعریف شده اند و بنابراین نیازی به هموارسازی که عملیاتی غیرخطی بوده و باعث اعوجاج می شود، نیست. شکل (۱۶)، چگونگی تشکیل بردار ویژگی مربوط به نقطه خاص حرارتی  $a$  را نشان می دهد. اگر  $n$  تعداد TMPهای صورت یک شخص

انتخاب خواهند شد و اگر میزان شباهت کمتر از این مقدار باشد حذف می‌شوند.

اگر  $m$  تعداد TMP های تصویر اول،  $n$  تعداد TMP های تصویر دوم،  $P_s$  و  $g_t$  به ترتیب کامین و t امین بردار ویژگی از ماتریس ویژگی دو تصویر مربوط به یک شخص  $x_s$  و بیشترین مقدار شباهت بدست آمده از مقایسه  $P_s$  با تمام بردارهای ویژگی تصویر دوم باشد، در این تحقیق، جهت تعیین مقدار سطح آستانه (Tr)، عبارت زیر پیشنهاد شده است:

$$x_s = \max(DTW(g_t, p_s)), 1 \leq t \leq n, 1 \leq s \leq m$$

$$Tr = 1/3 \left( \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m x_s \right)$$

ضریب  $1/3$  جهت وزندهی سطح آستانه بوده و به صورت تجربی انتخاب شده است. شکل (۱۸) نتیجه مقایسه دو ماتریس و تصویر ITMP را نشان می‌دهد.

## ۱۰-۲- تغییر اندازه و جمع کننده

جهت هم‌اندازه‌سازی، تصاویر TMP بدست آمده در مرحله قبلی، به تصاویر  $80 \times 100$  تبدیل می‌گردند. ابعاد این تصاویر با توجه به اندازه تصویر صورت، بطور تجربی انتخاب شده است. تغییر اندازه دادن تصویر، باعث ایجاد همسایگی برای هر TMP خواهد شد. ایجاد این همسایگی، در مرحله مقایسه بین دو تصویر (که در قسمت ۱۲ بیان می‌شود) تاثیر مثبت گذاشته و باعث کاهش خطای شناسایی می‌گردد. در نهایت سه تصویر تغییر ابعاد یافته هر شخص، با یکدیگر جمع شده و در نتیجه به ازای هر شخص یک تصویر BTMPs بدست می‌آید.

کیفیت تصاویر و تغییر در توزیع دمایی صورت ایجاد می‌شوند. در روش پیشنهادی، با انتخاب TMP های مناسب می‌توان نرخ شناسایی صحیح را افزایش داده و نقش عوامل مطرح شده را به حداقل رساند. این نقاط که در این تحقیق BTMPs نامیده می‌شوند، در تمام تصاویر مربوط به یک شخص، مکان تقریباً ثابتی دارند. همانطور که شکل (۱۷) نشان می‌دهد، برای انتخاب این نقاط، ماتریسهای ویژگی چهار تصویر یک شخص بر اساس الگوریتم کشیدگی زمان پویا ( $DTW^1$ ) [10] با یکدیگر مقایسه می‌گردند. به این صورت که دو ماتریس اول بر اساس الگوریتم DTW با هم مقایسه شده و بردارهای ویژگی مشابه از ماتریس اول انتخاب می‌شوند. سپس ماتریس بدست آمده از این بردارها، دوباره با ماتریس ویژگی بعدی مقایسه می‌شود. این کار دو بار انجام شده و سه ماتریس ویژگی از ماتریسهای ویژگی قبلی استخراج می‌شوند. سپس TMP های مربوط به هر ماتریس رسم شده و تصویر حاصله به عنوان تصویر  $ITMP^2$  مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه خواهیم دید BTMPs طی یک پردازش ساده روی ITMPها بدست می‌آیند. همانطور که گفته شد، در این تحقیق، جهت مقایسه بین دو بردار ویژگی، الگوریتم DTW [10] پیشنهاد شده است. این الگوریتم از روی همسانی و تشابه بین نقاط دو بردار، میزان شباهت دو بردار را بصورت عددی مشخص کرده و در برابر عواملی مانند تغییرات توزیع دمایی و پایین بودن کیفیت تصاویر، پایدار است. در این تحقیق، اگر میزان شباهت دو بردار که از تابع  $DTW(.)$  [10] مشخص می‌شود، از یک سطح آستانه بیشتر باشد، دو بردار مشابه بوده و

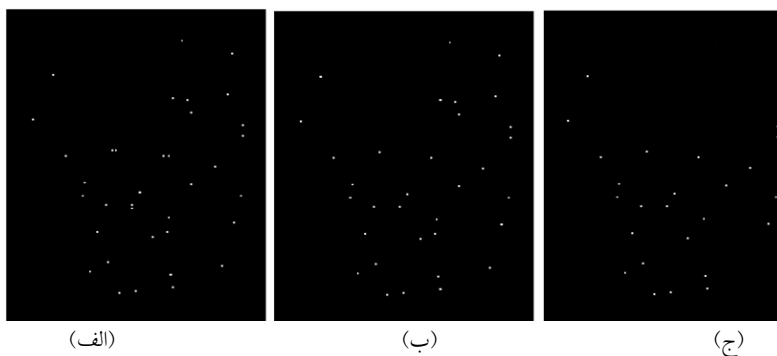
1. Dynamic Time Warping
2. Intermediate TMP

شخص را نشان می‌دهد. در این شکل، نواحی روشن‌تر بیان‌کننده با ارزش‌ترین نقاط و نقاط تیره‌تر بیان‌کننده کم‌ارزش‌ترین نقاط در مسئله شناسایی می‌باشند.

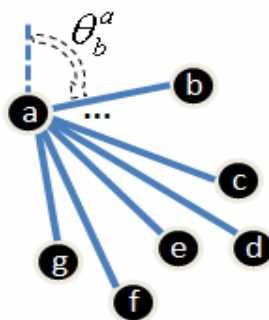
تصویر BTMPs هر شخص در بانک تصاویر BTMPs ذخیره شده (شکل (۱)) و برای شناسایی و در زمان اجرای مرحله بهنگام (شکل (۲))، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۱۹) نمونه‌ای از تصویر BTMPs انتخاب شده برای یک

جدول (۱): نتایج دسته‌بندی متوسط  $K$

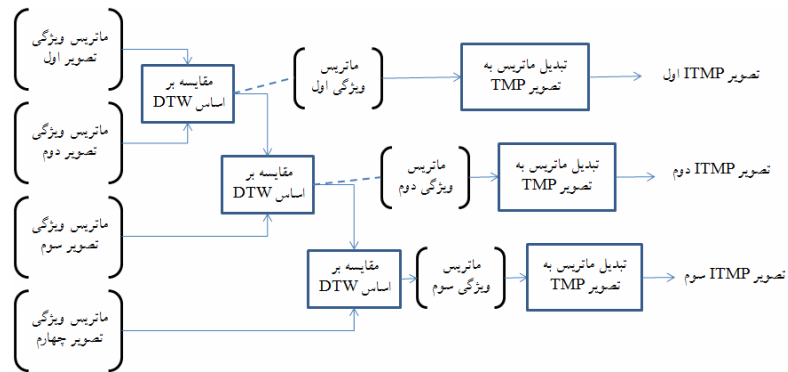
	مرکز گروه اول	مرکز گروه دوم	اختلاف مراکز دو گروه
مجموعه A	۱۹۵	۹۵	۱۰۰
مجموعه B	۲۱۰	۱۸۶	۲۴



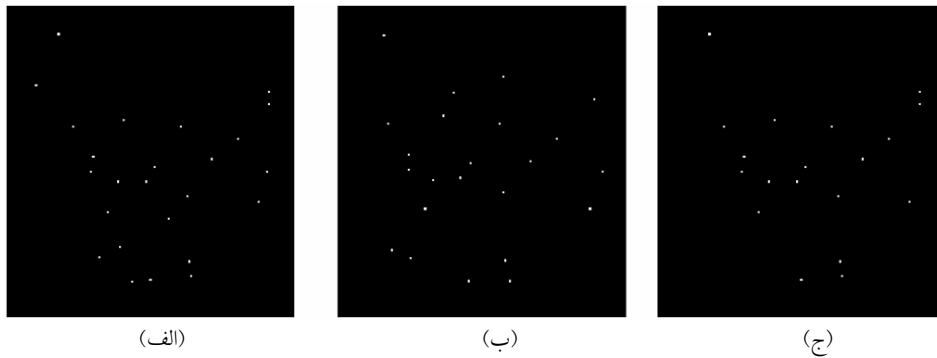
شکل (۱۵): حذف نقاط انشعاب اضافی، (الف) تصویر اولیه (شکل (۱۱-ب)، (ب) حذف نقاط انشعاب اضافی نوع اول و (ج) حذف نقاط انشعاب اضافی نوع دوم



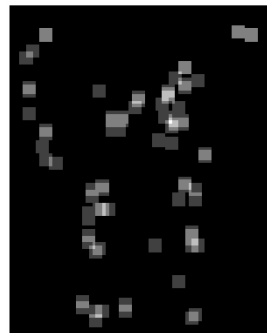
شکل (۱۶): نحوه تشکیل بردار ویژگی مربوط به نقطه خاص حرارتی a



شکل (۱۷): نحوه مقایسه ۴ ماتریس ویژگی بر اساس الگوریتم DTW



شکل (۱۸): نتیجه مقایسه دو ماتریس ویژگی بر اساس الگوریتم DTW. (الف) نقاط TMP تصویر اول شخص (شکل (۱۵-ج)) و (ب) نقاط TMP تصویر دوم شخص و (ج) تصویر ITMP اول



شکل (۱۹): نمونه‌ای از تصویر BTMPs استخراج شده یک فرد در بانک BTMPs

## ۲-۱۱- مقایسه

همانطور که شکل (۲) نشان می‌دهد، در عملیات بهنگام، ابتدا تصویر TMP مربوط به شخص مورد آزمون را مشابه با مراحل فوق بدست می‌آوریم. سپس تصویر TMP حاصله، به تصویر  $80 \times 100$  تغییر اندازه داده شده تا با ابعاد تصاویر موجود در بانک تصاویر BTMPs یکسان شود. در نهایت عمل مقایسه بین تصویر TMP شخص مورد آزمون با تمام تصاویر بانک BTMPs انجام می‌گردد. در این تحقیق، برای مقایسه فوق از روش تحلیل عناصر اصلی ( $PCA^1$ ) استفاده شده است [11]. در این روش ابتدا کاهش بُعد صورت گرفته تا بتوان زیرفضایی با بردارهای متعامد تعریف نمود و در آن زیرفضا، پراکندگی داده‌ها را به بهترین حالت نشان داد. پس از تشکیل این زیرفضا، تمام تصاویر موجود در بانک BTMPs به این زیرفضا منتقل شده و وزنه‌های حاصله بصورت یک بردار، در بانک فضای PCA ( $\Omega$ ) ذخیره می‌شوند. هر تصویر TMP متناظر با شخص مورد آزمون نیز، جهت مقایسه به این زیرفضا منتقل و به یک بردار تبدیل خواهد شد. اگر  $\Omega_p$  بردار تصویر شخص مورد آزمون،  $\Omega_k$  بردار تصویر k ام بانک و  $\varepsilon_k$  میزان شباهت تصویر مورد آزمون با تصویر k ام بانک باشند، ابتدا تمام  $\varepsilon_k$  به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\varepsilon_k = \|\Omega_p - \Omega_k\|, \quad k = 1, 2, \dots, 24$$

سپس آن  $\Omega_k$  که کمترین فاصله را با  $\Omega_p$  ایجاد کند به عنوان تصویر شناسایی شده انتخاب می‌گردد.

## ۳- نتایج شبیه‌سازی

نتایج الگوریتم پیشنهادی بر روی بخشی از تصاویر مادون قرمز حرارتی موجود در بانک داده UTK-IRIS پیاده‌سازی شده است. در این بانک داده، دوربین تصویربرداری حرارتی بر روی یک شفت به طول ۸۰ سانتیمتر قرار گرفته و در جهت ساعتگرد از صفر تا ۱۸۰ درجه می‌چرخد. فرد مورد نظر در مرکز مسیر دوربین و در فاصله ۲ متری از آن می‌باشد. در هر چرخش دوربین، فرد صرفاً در یکی از حالات معمولی، خندان و یا ناراحت بوده و ۱۱ تصویر در حالت معمولی با عینک و بدون عینک می‌باشند. عمل تصویربرداری از هر فرد در چهار دوره زمانی متفاوت تکرار شده است. بنابراین از هر فرد در حالت مثلاً معمولی و بدون عینک، چهار تصویر تمام رخ (زاویه صفر درجه) در اختیار می‌باشد. تصاویر بوسیله دوربین غیرسرد شونده<sup>۲</sup> ثبت شده و دارای ابعاد  $240 \times 320$  می‌باشد. طول موج تصویر برداری، ۱۲-۷ میکرومتر ( $LWIR^3$ ) است. شایان ذکر است اکثر مقالاتی که در این حوزه منتشر شده است بر روی تصاویر با کیفیت بالا  $MWIR^4$  شبیه‌سازی شده‌اند در حالیکه به علت تحریم بودن کشور عزیزمان نتوانسته ایم به این

2. Uncooled
3. Log Wave IR
4. Middle Wave IR

## 1. Principal Component Analysis

(1,0) بیانگر بدترین حالت بوده و شناسایی صحیح رخ نداده است. در این حالت تمام تصاویر ورودی آشنا تصاویر ورودی آشنا، شناسایی نشده (FN) و تمام تصاویر ناآشنا شناسایی شده‌اند (FP).



شکل (20): نمونه‌ای از تصاویر آموزش چهار نفر

جهت تشکیل منحنی ROC، لازم است نقاط  $(FPR, TPR)$  به ازای تغییرات پارامتر سطح آستانه رسم گردند. در این تحقیق، شباهت تصویر شخص مورد آزمون با کلیه تصاویر موجود در بانک داده به صورت عددی بین صفر و یک محاسبه و بزرگترین آن انتخاب می‌شود. این مقادیر حداکثری برای کلیه افراد مورد آزمون (۴۴ نفر شامل ۲۴ نفر آشنا و ۲۰ نفر ناآشنا) محاسبه و به صورت نزولی مرتب می‌گردند. سطح آستانه فوق‌الذکر از بزرگترین مقدار به کوچکترین مقدار لیست بدست آمده تغییر می‌کند. هنگامیکه بزرگترین مقدار برای سطح آستانه انتخاب شود هیچ یک از تصاویر (اعم از آشنا و ناآشنا) شناسایی نشده از اینرو منحنی از نقطه  $(0,0)$  شروع خواهد شد. هنگامیکه مقدار بعدی به عنوان سطح آستانه انتخاب می‌شود، افرادی که بالای این سطح آستانه باشند به عنوان آشنا شناسایی شده و افرادی که زیر این سطح آستانه قرار داشته باشند ناآشنا تشخیص داده می‌شوند. تعداد افرادی که آشنا تشخیص داده

تصاویر دست یابیم و شبیه‌سازی را بر روی تصاویر با کیفیت پایین انجام داده ایم. در این تحقیق صرفاً بخشی از بانک داده فوق‌مورد استفاده قرار گرفته است. بخش مورد استفاده شامل ۲۴ فرد با ۴ تصویر با حالت معمولی و تمام رخ می‌باشد. روش پیشنهادی در این تحقیق صرفاً جهت حذف عامل عینک در شناسایی تصاویر صورت تمام رخ می‌باشد. بنابراین تنها از ۴ تصویر که در حالت معمولی می‌باشند جهت آموزش هر شخص (اجرای شکل (۱) و تشکیل بانک تصاویر BTMPs) استفاده شده و تصاویر در حالات خندان و ناراحت که باعث تغییرات غیرخطی مضاعف (علاوه بر عینک) می‌شوند بکار گرفته نشده‌اند. شکل (20) نمونه‌ای از تصاویر آموزش را نشان می‌دهد.

این تحقیق، جهت بررسی میزان موفقیت روش پیشنهادی از دو معیار منحنی ROC [12] و نرخ شناسایی صحیح مرتبه  $n$  ام استفاده شده است. منحنی ROC یکی از معیارهای تعیین موفقیت، در شناسایی صحیح صورت می‌باشد. در این منحنی، محور عمودی  $TPR^1$  و محور افقی  $FPR^2$  است. مقدار  $(FPR, TPR) = (0,1)$  نشان دهنده شناسایی بدون خطا می‌باشد زیرا در این حالت تمام تصاویر ورودی که برای سیستم آشنا می‌باشند شناسایی شده (TP) و تصاویر ورودی که برای سیستم ناآشنا است، شناسایی نشده‌اند (TN). نقطه  $(FPR, TPR) = (0,0)$  نشان دهنده شناسایی نشدن هیچ یک از تصاویر (اعم از آشنا و ناآشنا) و نقطه  $(FPR, TPR) = (1,1)$  معرف شناسایی شدن تمام تصاویر (اعم از آشنا و ناآشنا) می‌باشد. نقطه  $(FPR, TPR) =$

1. True Positive Rate
2. False Positive Rate



شده‌اند و واقعا نیز آشنا بوده‌اند در TP و تعداد افرادی که آشنا تشخیص داده شده‌اند ولی در واقع ناآشنا بوده‌اند در FP ذخیره می‌شوند. همانند این موضوع، تعداد افرادی که آشنا تشخیص داده نشده‌اند و واقعا آشنا بوده‌اند در FN و تعداد افرادی که آشنا تشخیص داده نشده‌اند و در واقع هم ناآشنا بوده‌اند در TN ذخیره می‌شود. از روی TP، FP، FN و TN، مقادیر FPR و TPR بر اساس عبارات زیر محاسبه شده و نقطه (FPR, TPR) بر روی صفحه ROC علامت-گذاری می‌شود:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FP}, \quad FPR = \frac{TN}{TN + FN}$$

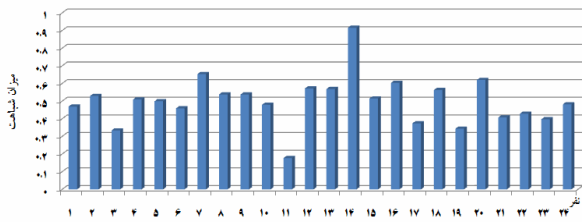
این کار برای تمام سطوح آستانه تکرار می‌گردد. در پایان زمانیکه سطح آستانه، کمترین مقدار انتخاب گردد تمام تصاویر شناسایی خواهند شد. بنابراین منحنی در نهایت به نقطه (1,1) خواهد رسید. هر چقدر در یک آزمایش سطح زیر این منحنی بیشتر باشد، میزان موفقیت در شناسایی بیشتر بوده است.

ملاک دیگر، محاسبه نرخ شناسایی صحیح مرتبه n ام می‌باشد. برای اندازه‌گیری این معیار، به الگوریتم اجازه داده می‌شود پس از مشاهده تصویر مورد آزمون، n تصویر با بیشترین شباهت را از بانک داده BTMPs انتخاب کند. اگر تصویر مورد آزمون در واقع یکی از n تا بود شناسایی صحیح و در غیر این صورت شناسایی غلط انجام شده است.

یکی از معضلات تشخیص صورت در تصاویر مادون قرمز حرارتی، وجود عینک در تصویر می‌باشد. عینک مانع از انتشار اشعه مادون قرمز شده و باعث حذف رگهای

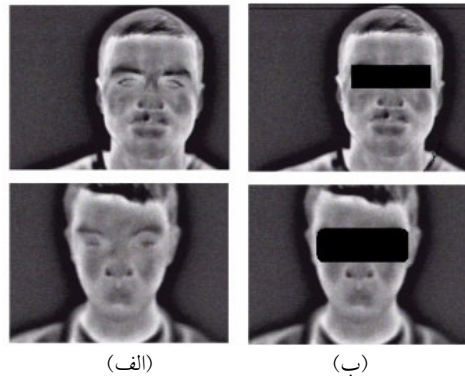
اطراف چشم می‌گردد. در موضوع شناسایی بر اساس رگهای صورت این مشکل بدون حل باقی مانده بود و شناسایی صحیح را با خطا مواجه می‌کرد [5]. از طرفی الگوریتم‌های شناسایی صورت، که بر اساس ترکیب تصاویر مادون قرمز حرارتی و مرئی می‌باشند در شناسایی افراد با عینک با چالش بزرگی روبرو هستند [13]. در این قسمت، نتایج عملکرد روش پیشنهادی در برابر این گونه تصاویر ارائه و با نتایج بدست آمده در [5] و [13] مقایسه می‌گردد. دلیل انتخاب [13] برای مقایسه با روش پیشنهادی، یکسان بودن بانک داده‌ها در هر دو تحقیق و جدید بودن آن می‌باشد همچنین قسمتهایی از این تحقیق از روشهای بیان شده در [5] الگو برداری شده از اینرو بهبود بدست آمده با [5] نیز مقایسه می‌گردد.

با توجه به اینکه تصاویر باعینک موجود در بانک داده UTK-IRIS کیفیت بسیار پایین داشته و عملا غیرقابل استفاده می‌باشند، در این تحقیق جهت نشان دادن تصاویر باعینک و اجرای عملیات بهنگام (شکل (۲))، یک تصویر از چهار تصویر موجود هر شخص بصورت شکل (۲۱-ب) تبدیل شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدیهی است چنانچه در این بانک تعداد تصاویر با حالت معمولی بیشتر می‌بود از تصاویر دیگر برای ایجاد تصویر با عینک استفاده می‌گردید اما محدود بودن تعداد تصاویر اشخاص با حالت معمولی در بانک داده از یک سو، مطرح بودن این بانک به عنوان تنها بانک تصاویر مادون قرمز حرارتی موجود در کشور از سوی دیگر و نهایتا لزوم استفاده از حداقل چهار تصویر برای تشکیل بانک تصاویر BTMPs و اثبات توانایی الگوریتم، باعث این انتخاب جبری گردید.



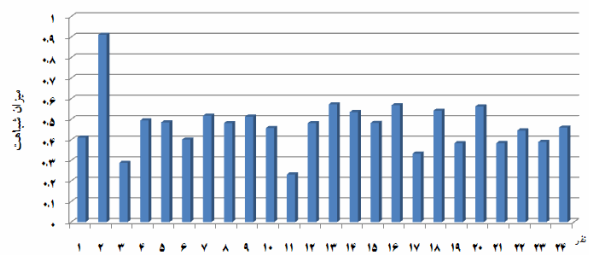
شکل ۲۳: میزان شباهت تصویر TMP عینکی شده نفر چهاردهم در مقایسه با افراد موجود در بانک تصاویر BTMPs

شکل ۲۴، ملاک مقایسه ROC روش پیشنهادی با روش بکار رفته در [5] بر روی تصاویر باعینک را نشان می‌دهد. علت عدم مقایسه با [13]، عدم اطلاعات مورد نیاز در مرجع مذکور می‌باشد. در این منحنی، علاوه بر ۲۴ تصویر موجود در بانک داده UTK-IRIS (تصاویر آشنا برای سیستم) تعداد ۲۰ تصویر از افراد خارج از بانک داده (ناآشنا برای سیستم) پس از تولید معادل عینکی آنها به الگوریتم شناسایی اعمال شده‌اند. جهت بررسی سخت‌گیرانه‌تر میزان موفقیت، این ۲۰ تصویر از تصاویر با کیفیت<sup>1</sup> MWIR (غیر از تصاویر موجود در بانک داده) انتخاب شده‌اند. در این تصاویر تعداد TMPهای استخراج شده از هر فرد تقریباً دو برابر تصاویر موجود در بانک داده BTMPs شکل ۲۵ نیز نرخ شناسایی صحیح مرتبه n ام روش پیشنهادی با روش بکار رفته در [5] و [13] را مقایسه نموده است. چنانچه مشاهده می‌شود به ازای nهای مختلف روش پیشنهادی بهتر عمل کرده است. در n = 1 که مهمترین حالت می‌باشد، روش پیشنهادی در مقایسه با [5]، به میزان ۲۵٪ و در مقایسه با [13]، به میزان ۱۰٪ بهتر عمل کرده است.



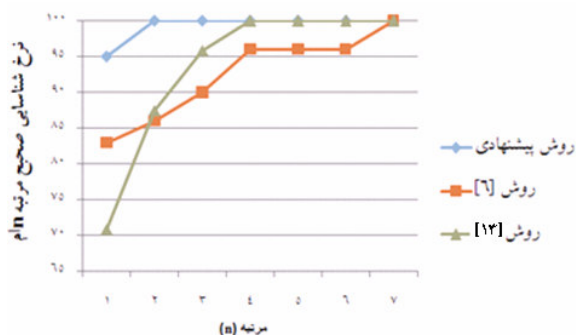
شکل ۲۱: تصاویر آزمون افراد با عینک: ستون (الف) تصاویر اولیه و ستون (ب) معادل تصاویر با عینک

همانطور که گفته شد جهت شناسایی تصاویر با عینک، از بانک تصاویر BTMPs بدست آمده از تصاویر بدون عینک استفاده شده است. شکل ۲۲ و شکل ۲۳ به ترتیب میزان شباهت (E<sub>k</sub>-1) تصویر TMP عینکی شده نفر دوم و نفر چهاردهم در مقایسه با افراد موجود در بانک تصاویر BTMPs را نشان می‌دهند. در هر دو شکل، وجود عینک نتوانسته مانع از تشخیص بیشترین شباهت شود. ارتفاع بیشتر میله دوم در شکل ۲۲ و میله چهاردهم در شکل ۲۳ این واقعیت را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲: میزان شباهت تصویر TMP عینکی شده نفر دوم در مقایسه با افراد موجود در بانک تصاویر BTMPs

<sup>1</sup> Middle Wave IR



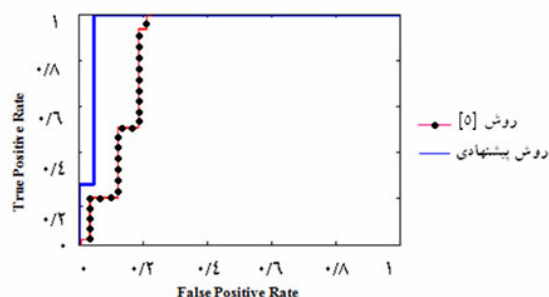
شکل ۲۵: مقایسه نرخ شناسایی صحیح مرتبه  $n$  ام روش پیشنهادی با روشهای [5] و [13] در تصاویر باعینک

با توجه به آنچه بیان شد، روش پیشنهادی مشکل عینک در تصاویر مادون قرمز حرارتی را برطرف نموده است ولی مشکلاتی مانند تعرق و تغییر شدید حالات صورت (مانند خندیدن، ناراحت شدن و...) بر روی شناسایی صحیح، اثر گذار بوده و هنوز بر طرف نشده‌اند.

جدول ۲: مقایسه نرخ شناسایی صحیح مرتبه اول روش

روش	روش بکار رفته در [13]	روش بکار رفته در [5]	روش پیشنهادی
افراد باعینک	٪۸۴	٪۷۰	٪۹۵

مقایسه روش پیشنهادی با روشهای بکار رفته در [5] و [13]



شکل ۲۶: مقایسه ملاک ROC روش پیشنهادی با روش بکار رفته در [5] بر روی تصاویر باعینک

#### ۴- جمع بندی

در این مقاله روش جدیدی برای حذف معضل عینک در شناسایی صورت مبتنی بر تصاویر مادون قرمز حرارتی معرفی شده است. در روش پیشنهادی، ایده‌های جدیدی مانند انتخاب BTMPs، نحوه متفاوت تشکیل بردار ویژگی و استفاده از الگوریتم DTW جهت مقایسه دو بردار، مطرح شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد ایده‌های جدید فوق، نقش بسزایی در شناسایی صحیح صورت و برتری ۱۰٪ نسبت به بهترین نتایج بدست آمده تا کنون برای حل مشکل عینک در تصاویر مادون قرمز حرارتی دارند. جدول ۲ مقایسه نرخ شناسایی صحیح مرتبه اول روش پیشنهادی با روشهای بکار رفته در [5] و [13] را نشان می‌دهد.

## ۵- مراجع

- on *Computer Vision and Pattern Recognition*, CVPR, Miami, FL, June 2009.
- [8] Dellaert, F; "The Expectation Maximization Algorithm", *College of Computing*, Georgia medical images, *IEEE Medical Image Analysis*, 1998.
- [9] Maltoni, D; Maio, D; Jain, A.K; Prabhakar, S; *Handbook of Fingerprint Recognition*, Springer Verlag, June 2003.
- [10] Keogh, E; Pazzani, M; "Derivative Dynamic Time Warping"; *In First SIAM International Conference on Data Mining (SDM'2001)*, Chicago, USA, 2001.
- [11] Turk, M; Pentland, A; *Eigenfaces for recognition*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 3, no. 1, pp. 71-86, 1991.
- [12] Fawcett, T; *An introduction to ROC analysis*, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27 pp. 861-874, 2006.
- [13] Kong, S.G; Heo, J; Boughorbel, F; Zheng, Y; Abidi, B; Koschan, A; Yi, M; Abidi, M; *Adaptive Fusion of Visual and Thermal IR Images for Illumination-Invariant Face Recognition*, *International Journal of Computer Vision*, Special Issue on Object Tracking and Classification Beyond the Visible Spectrum, Vol. 71, No. 2, pp. 215-233, 2007.
- [1] Jain, A; Bolle, R; Pankanti, S; Jain, A.K; *Biometrics: Personal Identification in Networked Society*, Edition number, 1<sup>st</sup>, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [2] Zhao, W; Chellapa, R; Phillips, P.J; Rosenfeld, A; *Face recognition: a literature survey*, *ACM Computing Surveys (CSUR)*, p 399, 2003.
- [3] Stan, Z.L; Anil, K.J; *Handbook of Face Recognition*, Springer Science, 2005.
- [4] Socolinsky, D; Wolff, L; Neuheiser, J; Evelenad, C; "Illumination invariant face recognition using thermal infrared imagery", *in Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Kauai, Hawaii, 2001.
- [5] Buddharaju, P; Pavlidis, I.T; Tsiamyrtzis, P; Bazakos, M; *Physiology-Based Face Recognition in the Thermal Infrared Spectru*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 29, No. 4, April 2007.
- [6] Socolinsky, D; Selinger, A; "Thermal Face Recognition in an Operational Scenario", *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'04)*, 2004.
- [7] Buddharaju, P; Pavlidis, I; "Physiological face recognition is coming of age", *IEEE Conference*