

## ردیابی بلادرنگ چشم انسان در محیط های بدون محدودیت

مجید تاجری<sup>1\*</sup>، محمود محلوچی<sup>2</sup> و حسین ابراهیم پور کومله<sup>3</sup>

<sup>1</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه کامپیوتر، اراک، ایران، majid\_tajeri@yahoo.com

<sup>2</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشان، گروه برق و کامپیوتر، کاشان، ایران، mmahlouji@yahoo.com

<sup>3</sup> دانشگاه کاشان، گروه کامپیوتر، کاشان، ایران، ebrahimpour@gmail.com

\* مجید تاجری، دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی کامپیوتر، گرایش معماری سیستم های کامپیوتری

### چکیده

در این مقاله، شیوه ای موثر جهت ردیابی چشم انسان و کاهش مشکلات و خطاهای موجود در روش ها و الگوریتم های آن ارائه گردیده است که حتی الامکان به صورت بلا درنگ کار کرده و برای محیط های بدون محدودیت مناسب باشد. در روش پیشنهادی ابتدا ناحیه ی صورت آشکارسازی شده و از بقیه ی تصویر جدا می شود تا ناحیه ی جستجو در مرحله ی ردیابی کمتر شده و سرعت پردازش بالاتر رود. سپس محدوده ی چشم مشخص شده و در ناحیه ی تعیین شده، مردمک چشم ها آشکار می شوند. سپس، ردیابی چشم به وسیله ی آن ها صورت می گیرد. در روش پیشنهادی، برای پشتیبانی از ردیابی در حالت انسداد چشم ها، از آشکارسازی گوشه های چشم نیز استفاده شده است. مشاهداتی که به لحاظ تجربی بر روی تصاویر مختلف و در شرایط متفاوت و طبیعی انجام گرفته است، نشان از توانایی این روش در ردیابی بلادرنگ برای محیط های بدون محدودیت و با شرایط مختلف از جمله تصاویر با پس زمینه ی پیچیده، چرخش سر و صورت، وجود ریش، آرایش، عینک و حجاب حتی در وضعیت بسته بودن چشم ها می باشد. نرخ تشخیص صحیح روش پیشنهادی حدود 91/9% می باشد.

واژه های کلیدی: آشکارسازی چشم، ردیابی چشم، فیلتر کالمن، گوشه یابی، الگوریتم هریس.

### 1- مقدمه

امروزه با افزایش روزافزون علم و پیشرفت مباحث علمی در زمینه ی بینایی ماشین و شناسایی الگو، ردیابی خودکار چشم در تصاویر ویدئویی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است و دلیل اهمیت این موضوع بیشتر معطوف به ارگانسیم و ساختار چشم می باشد. از آن جا که چشم به عنوان عضوی مهم و حساس در بدن بوده و بسیاری از حالت های درونی بدن و عکس العمل های آن نسبت به عوامل فیزیکی و غیر فیزیکی را بروز می دهد، لذا با استفاده از آن می توان حالاتی مانند خستگی و خواب آلودگی، مستی، شادی و غم، خیره شدن و ... را تشخیص داد. از این رو طراحی و پیاده سازی سیستم های ردیابی چشم و کاربردی نمودن آن ها در موارد مختلف از جمله سیستم های امنیتی

جهت کنترل ورود و خروج افراد، سیستم های ردیابی، شناسایی و تشخیص هویت بزهکاران اجتماعی، سیستم های راهنمایی و رانندگی جهت شناسایی راننده ای که مست بوده و یا مواد مخدر استعمال کرده است، سیستم های آزمایش دروغ سنجی و استفاده در خودروها جهت تشخیص خستگی و خواب آلودگی راننده قابل استفاده می باشد.

یک سیستم ردیابی چشم در واقع شامل مراحل زیر است: تصویر برداری، آشکار سازی صورت، آشکار سازی چشم و ردیابی چشم. روش های آشکار سازی چشم را در 4 دسته، تقسیم بندی می کنند [1]: روش های مبتنی بر شکل و ساختار، روش های مبتنی بر ویژگی، روش های مبتنی بر وضعیت ظاهری، روش های ترکیبی. چشم زمانی که باز است دارای شکل و فرم خاصی است. گوشه های چشم، وجود مردمک و پلک ها سبب می شوند تا چشم از دیگر نواحی صورت متمایز شود. روش های مبتنی بر شکل و ساختار از این ویژگی ها استفاده کرده و مدل هایی را برای چشم بیان می نمایند. این مدل می تواند یک بیضی ساده بوده و یا دارای ساختاری پیچیده باشد [۲،۳]. روش های مبتنی بر ویژگی از یک سری ویژگی های متمایز کننده در اطراف چشم استفاده می کنند. عنبیه، مردمک، پلک ها، مژه ها، لیمبوس (مرز بین عنبیه و صلبیه)، حالت مردمک و بازتاب نور در قرنیه، از ویژگی هایی هستند که برای یافتن چشم استفاده می شوند [۴،۵]. روش های مبتنی بر وضعیت ظاهری، به عنوان روش های تطبیق الگو یا روش های کلی نیز شناخته می شوند. روش های مبتنی بر وضعیت ظاهری، بر اساس وضعیت ظاهری چشم، به طور مستقیم چشم ها را تشخیص داده و ردیابی می کنند. این روش ها از اشیاء مورد نظر، مستقل بوده و می توانند هر شی دیگر را در کنار چشم مدل کنند [۶،۷]. هدف اصلی روش های ترکیبی، ترکیب کردن مزیت های مختلف مدل های چشم در یک سامانه می باشد تا بر محدودیت های نسبی هر یک غلبه کند. برای بهبود این الگوریتم ها، راه حل های پیشنهادی سعی می کنند با استفاده از ترکیب روش ها، ناحیه ی مورد نظر را برای تطبیق الگو کاهش داده یا روشی پیشنهاد کنند که زمان این نوع تطبیق را کاهش دهند [۸،۹].

روش های موجود برای ردیابی چشم را نیز می توان به 3 دسته تقسیم نمود [10]: روش های مبتنی بر دانش، روش های مبتنی بر آموزش و روش های تخمین زنده مکان چشم. در رویکرد مبتنی بر دانش، روش های ردیابی بر اساس قوانین به دست آمده از نتایج مطالعات و تحقیقات پیرامون اجزای چهره تعریف شده و توسعه می یابند. به راحتی می توان قوانینی وضع کرد که ویژگی های چهره و روابط بین آن ها را توصیف کنند [۱۱،۱۲]. روش های مبتنی بر آموزش را می توان در سه دسته زیر قرار داد [۱۳،۱۴]: شبکه های عصبی، دسته بند های Adaboost و ماشین های بردار پشتیبان. روش های تخمین موقعیت مکان چشم، به صورت تقریبی موقعیت شی را با توجه به محل فعلی شی در فریم جاری، در مراحل بعدی تعیین کرده، سپس موقعیت دقیق آن را با یک جستجوی محلی مشخص می نمایند. در صورت تخمین صحیح مرحله ی اول، دقت و کارایی مراحل بعدی افزایش می یابد [15-17].

در این مقاله، روشی برای ردیابی چشم ارائه می گردد که به صورت بلادرنگ بوده و برای محیط های بدون محدودیت مناسب باشد. برای این کار، در مرحله ی آشکارسازی صورت و چشم، از ویژگی رنگ استفاده شده است. سپس در مرحله ی ردیابی، روش تخمین زننده ی موقعیت مردمک و فیلتر کالمن به کار گرفته شده است. برای پشتیبانی از انسداد چشم در مرحله ی ردیابی، روش مبتنی بر شکل و ساختار با روش تخمین زننده ی موقعیت مردمک ترکیب شده و موازی با فیلتر کالمن، از آشکارسازی گوشه های چشم، استفاده شده است. ادامه ی این مقاله به صورت زیر سامان دهی می شود: در بخش دوم، سامانه ی ردیابی چشم بررسی و معرفی می گردد. در بخش سوم، روش پیشنهادی تشریح می شود. در بخش چهارم، نتایج به دست آمده از آزمایشات ارائه شده و در بخش پنجم، نتیجه گیری انجام گردیده است.

## 2- سامانه ی ردیابی چشم

به طور کلی یک سامانه ی ردیابی چشم را می توان در 4 مرحله خلاصه کرد:

- تصویر برداری (Image Acquisition)
- آشکارسازی صورت (Face Detection)
- آشکارسازی چشم (Eye Detection)
- ردیابی چشم (Eye Tracking)

مرحله ی تصویر برداری، همان ورود داده یا تصویر به سیستم بوده که می تواند شامل یک فیلم باشد که توسط یک دوربین فیلمبرداری می شود. بعد از مرحله ی تصویر برداری، برای پیاده سازی هر یک از مراحل گفته شده الگوریتم هایی وجود دارد که دارای معایب و مزایایی بوده و قاعدتا هر روش در پی رفع معایب روش های دیگر و بهبود عملکرد آن ها می باشد. یکی از روش های متداول برای آشکارسازی صورت، استفاده از ویژگی رنگ است [18]. از آنجائی که فضای RGB علاوه بر دارا بودن اطلاعات رنگی پیکسل ها، اطلاعات شدت نور و روشنایی آن ها را نیز شامل می باشد و شدت نور و روشنایی صورت، از فردی به فرد دیگر و از محیطی به محیط دیگر متفاوت است، لذا استفاده از این فضا برای تشخیص رنگ صورت چندان کارا نبوده و محدودیت ها و اشکالاتی را ایجاد می نماید. به همین دلیل باید به دنبال فضایی بود که به شدت نور و روشنایی پیکسل ها وابسته نباشد. یکی از گزینه های انتخاب، فضای رنگی کروماتیک YCbCr می باشد. از این رو ابتدا تصویر را از فضای RGB به YCbCr تبدیل می کنند. فضای رنگی RGB با استفاده از معادله ی (1) به YCbCr تبدیل می گردد:

$$\begin{cases} Y = 0.299R - 0.587G - 0.11B \\ Cb = R - Y \\ Cr = B - Y \end{cases} \quad (1)$$

پس از آنکه فضای رنگی به YCbCr تبدیل شد، ماتریس کوواریانس و میانگین برای آن محاسبه می شود. معادله ی (2) نحوه محاسبه ی میانگین و کوواریانس را نشان می دهد:

$$\mu = E(x) , \quad c = E\left((x - \mu)(x - \mu)^T\right) \quad (2)$$

که  $E$  امید ریاضی،  $\mu$  میانگین،  $c$  ماتریس کوواریانس،  $x$  ماتریس اصلی و  $(x - \mu)^T$  ترانهاده ی  $(x - \mu)$  می باشد. با استفاده از مقادیر میانگین و کوواریانس می توان یک مدل گوسی برای رنگ پوست به دست آورد. پس از به دست آمدن مدل رنگ پوست، می توان از تابع گوسی و فاصله ی اقلیدسی برای آشکار سازی صورت استفاده کرده و تعلق یا عدم تعلق یک پیکسل به مدل مورد نظر را تشخیص داد. فرض کنید دو بردار به مختصات  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  و  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$  داشته باشیم. آنگاه طبق معادله ی (3)، فاصله ی اقلیدسی آن ها عبارت است از:

$$D(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} \quad (3)$$

پس از آشکار سازی صورت، نوبت به آشکار سازی چشم می رسد. از آنجا که رنگ چشم ها نسبت به دیگر نقاط صورت متمایز بوده و شدت رنگ در نواحی اطراف چشم متفاوت از دیگر قسمت ها می باشد، می توان از این ویژگی برای آشکار سازی چشم استفاده کرد. برای آشکار سازی چشم بر اساس ویژگی رنگ می توان از تصویر افقی و عمودی صورت استفاده نمود [19]. تصویر افقی برای یک تصویر با ابعاد  $M$  سطر و  $N$  ستون، از جمع شدت پیکسل ها در هر سطر طبق معادله ی (4) و تصویر عمودی، از جمع شدت پیکسل ها در هر ستون طبق معادله ی (5) به دست می آید:

$$hp = \{hp_x \mid 1 \leq x \leq M\} , \quad hp_x = \sum_{y=1}^N f(x, y) \quad (4)$$

$$vp = \{vp_y \mid 1 \leq y \leq N\} , \quad vp_y = \sum_{x=1}^M f(x, y) \quad (5)$$

یکی دیگر از روش های آشکار سازی چشم، استفاده از گوشه های چشم می باشد. در [20] از ویژگی گوشه های چشم و الگوریتم هریس برای یافتن گوشه ها، جهت مشخص کردن مرکز مردمک استفاده شده است. در این الگوریتم، کلیشه ای مستطیلی در هر نقطه از تصویر در نظر گرفته می شود. با جابجا کردن کلیشه در جهات مختلف، میزان تغییر میانگین شدت روشنایی تصویر در هر پنجره

نسبت به پنجره ی اصلی محاسبه شده و مقدار حداقل این تغییر به عنوان پاسخ گوشه در نظر گرفته می شود. بسته به موقعیت نقطه در تصویر سه حالت مختلف ایجاد می گردد:

- اگر ناحیه ی پنجره ای شده از نظر شدت روشنایی همگن باشد، تمام جابجایی ها منجر به تغییر کوچکی شده و پاسخ گوشه مقدار کمی دارد.
- اگر ناحیه ی پنجره ای شده روی یک لبه واقع شده باشد، جابجایی در جهت عمود بر لبه بیشترین تغییر و جابجایی در جهت لبه کمترین تغییر را ایجاد می کند. بنابراین در این حالت نیز تابع مقدار کمی دارد.
- اگر ناحیه ی پنجره ای شده روی یک گوشه واقع باشد، جابجایی در تمام جهات منجر به تغییر بزرگی می شود. بنابراین تابع پاسخ گوشه بر روی گوشه های تصویر دارای حداکثر مقدار خواهد بود.

روش هریس به صورت ریاضی طبق معادله ی (6) بیان می شود:

$$E_{x,y} = \sum_{u,v} w_{u,v} |I_{x+u,y+v} - I_{u,v}|^2 \quad (6)$$

که  $w$  کلیشه ی اعمال شده به تصویر است که به صورت دایره ای با ضرایب یک در نظر گرفته می شود،  $I$  گرادیان تصویر و  $E$  تغییر ایجاد شده به ازای جابجایی  $(x,y)$  است. جابجایی  $(x,y)$  در چهار جهت شامل  $\{(1,0),(1,1),(0,1),(-1,-1)\}$  در نظر گرفته می شود.

آشکار ساز گوشه ی هریس، حداکثر محلی  $\min_{x,y} \{E_{x,y}\}$  را که بیشتر از یک آستانه ی خاص باشد را به عنوان گوشه معرفی می کند. با تعمیم تحلیلی که از معادله ی زیر حول مبدا جابجایی به دست می آید، کلیه ی جابجایی های کوچک ممکن، طبق معادله ی (7) پوشش داده می شوند:

$$E(x,y) = Ax^2 + 2Cxy + By^2 \quad (7)$$

$$A = (I_x)^2 \otimes w, \quad B = (I_y)^2 \otimes w, \quad C = (I_x I_y) \otimes w$$

در معادله ی فوق،  $w$  کلیشه ی گوسین،  $I_x$  و  $I_y$  گرادیان تصویر در جهت  $x$  و  $y$  و  $\otimes$  عملگر کانولوشن می باشد. مقدار  $E$  به صورت معادله ی (8) نیز قابل نمایش است.

$$E(x,y) = (x,y) M (x,y)^T, \quad M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \quad (8)$$

در این معادله  $M$  یک ماتریس متقارن  $2 \times 2$  در نقطه  $(x, y)$  می باشد و  $E$  به عنوان تابع خود همبستگی محلی نیز تعیین می شود. در [20] نشان داده شده است که مقدار  $R$  حاصل از معادله  $(9)$  می تواند به عنوان پاسخ گوشه در هر نقطه  $(x, y)$  تصویر تعبیر شود.

$$R = Det(M) - KTr^2(M) \quad (9)$$

$$Tr = \alpha - \beta = A + B$$

$$Det(M) = \alpha\beta = AB - C^2$$

مقدار  $R$  در ناحیه  $(x, y)$  گوشه ای، مثبت، در ناحیه  $(x, y)$  لبه ای، منفی و در ناحیه  $(x, y)$  هموار تصویر، دارای قدر مطلق کوچکی است. برای کاهش زمان محاسبات، از کلیشه  $(x, y)$  موجود در محاسبات هریس صرفنظر خواهد شد. در نتیجه، ابتدا مقادیر  $A, B, C$  طبق معادله  $(10)$  به دست می آید.

$$A = (I_x)^2, \quad B = (I_y)^2, \quad C = (I_x I_y) \quad (10)$$

پس از به دست آوردن این مقادیر، مقدار  $R$  از معادله  $(9)$  محاسبه می شود. آزمایشات نشان می دهد که دو نقطه با بیشترین مقدار  $R$  در محدوده  $(x, y)$  شامل چشم، لبه های عنبریه  $(x, y)$  چشم می باشد [20]. مرحله  $(x, y)$  آخر در سامانه  $(x, y)$  ردیابی چشم، ردیابی چشم ها می باشد. برای ردیابی چشم، روش های زیادی وجود دارد. یکی از مطلوب ترین و پرکاربردترین روش ها که برای کاربردهای بلادرنگ نیز مناسب است، استفاده از فیلتر کالمن می باشد [۲۱، ۱۴].

یک فیلتر کالمن، یک مجموعه ای از الگوریتم های بازگشتی است که محل و عدم قطعیت اشیاء متحرک در فریم زمانی بعدی را تخمین می زند. بدین معنی که کجا به دنبال مردمک گشته و چه وسعتی از تصویر در فریم بعدی حول مکان های تخمین زده شده باید جستجو شود تا با اطمینان بالا مردمک ها پیدا شوند. این روش به صورت بازگشتی، تخمین فعلی را به تمام محاسبات قبلی محدود می کند و این روند با تخمین های قبلی که برای پیشگویی استفاده می شوند تکرار می شود. این طبیعت بازگشتی، یکی از خصوصیات جذاب و خوشایند فیلتر کالمن است که پیاده سازی عملی آن را ساده و ممکن می سازد. اصول کار بدین صورت است که در فیلتر کالمن، برداری به نام بردار حالت در نظر گرفته می شود. این بردار بیان کننده  $(x, y)$  حالت سیستم می باشد. فیلتر کالمن در هر مرحله با استفاده از اطلاعات حرکت در زمان های قبل، بردار حالت زمان بعد را پیش بینی می کند. بردار حالت به صورت  $X = (x, y, v_x, v_y)$  می باشد که در آن  $x$  و  $y$  مولفه های مختصات متحرک و  $v_x$  و  $v_y$  مولفه  $(x, y)$  سرعت در جهت  $x$  و  $y$  می باشد. معادله  $(x, y)$  حالت به صورت معادله  $(11)$  می باشد:

$$X_{t+1} = \Phi_t X_t + w_t \quad (11)$$

که در آن  $w_t$  نویز سفید گوسی با میانگین صفر،  $X_{t+1}$  بردار حالت در زمان  $t+1$  و  $X_t$  بردار حالت در زمان  $t$  می باشد که نشان دهنده ی شتاب حرکت است و ماتریس  $\Phi_t$  به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$\Phi_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

که  $T$  فاصله ی زمانی بین فریمی می باشد. بردار اندازه گیری به صورت  $z=(x,y)$  در نظر گرفته شده و معادله ی ارتباط دهنده بردار حالت و بردار اندازه گیری به صورت معادله ی (13) بیان می شود:

$$Z_t = HX_t + e_t \quad (13)$$

که  $e_t$  خطای اندازه گیری،  $X_t$  بردار حالت در زمان  $t$ ،  $Z_t$  بردار اندازه گیری در زمان  $t$  و  $H$  ماتریس ارتباط دهنده ی بردار حالت و بردار مشاهده می باشد و به صورت معادله ی زیر تعریف شده است:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

با استفاده از فیلتر کالمن و از روی مسیر حرکت در زمان گذشته، موقعیت جدید سر در فریم بعد پیش بینی می شود. در [22] از فیلتر کالمن برای ردیابی چشم در تصاویر استفاده شده است. حالت مردمک در هر زمان با مختصات مکان و سرعت بیان می شود. اگر مختصات مرکز مردمک با  $x$  و  $y$  و سرعت در جهت های  $x$  و  $y$  با  $u$  و  $v$  نشان داده شود، بردار حالت  $X$  در زمان  $t$  به صورت  $X_t = (x_t, y_t, u_t, v_t)$  تعریف می شود. در فیلتر کالمن، بردار حالت زمان بعدی می باشد که با توجه به معادله ی (15) پیشگویی می شود.

$$X_{t+1}^{-1} = \Phi_t X_t \quad (15)$$

با جایگزینی معادله ی فوق در معادله ی (13) ماتریس مشاهده به دست می آید. ماتریس کوواریانس خطا که کوواریانس بین حالت پیش بینی شده و واقعی را نشان می دهد از معادله ی (16) به دست می آید:

$$\sum_{t+1}^{-1} = \Phi_t \sum_t (\Phi_t)^T + e_t \quad (16)$$

که  $(\Phi_t)^T$  ترانهاده ی  $\Phi_t$  و  $\sum_t$  ماتریس کوواریانس خطا در زمان  $t$  می باشد. بر اساس ماتریس کوواریانس  $\sum_{t+1}^{-1}$  ناحیه ای برای جستجو تعریف شده و در این ناحیه به جستجوی مردمک چشم می پردازد و مکان واقعی مردمک را به دست می آورد. از روی مختصات واقعی محاسبه شده، بردار حالت واقعی طبق معادله ی (17) به دست آمده و پارامترهای پیش بینی شده برای مراحل بعد اصلاح می شوند.

$$X_{t+1} = X_{t+1}^{-1} + K_{t+1} (Z_{t+1} - HX_{t+1}^{-1}) \quad (17)$$

$K_{t+1}$  ماتریس بهره می باشد که از معادله ی (18) به دست می آید:

$$K_{t+1} = \frac{\sum_{t+1}^{-1} H^T}{H \sum_{t+1}^{-1} H^T} \quad (18)$$

### 3- روش پیشنهادی

ابتدا برای اینکه شدت نور فضای اطراف، در الگوریتم پیشنهادی بی تاثیر باشد، فضای رنگی تصویر ورودی با استفاده از معادله ی (1) از RGB به YCbCr تبدیل می شود. سپس یک مدل رنگی طبق معادله ی (2) برای صورت تعریف شده و بر اساس مدل گوسی و فاصله ی اقلیدسی و با استفاده از معادله ی (3) ناحیه ی صورت آشکارسازی می شود. تصویر ورودی که در اینجا مورد استفاده قرار می گیرد دارای پس زمینه ی پیچیده بوده و هیچ گونه محدودیتی برای آن در نظر گرفته نشده است و ناحیه ی سر و صورت می تواند در هر جهت و با هر زاویه ای چرخش داشته و یا چشم ها مسدود بوده و شخص عینک، ریش، حجاب و یا آرایش داشته باشد. در مرحله ی بعد با استفاده از تصویر افقی طبق معادله ی (4)، محدوده ی شامل چشم ها تعیین شده و برای آنکه یافتن مرکز مردمک ها دقیق تر انجام شود، ناحیه ی شامل چشم ها به دو ناحیه ی چپ و راست تقسیم شده و در هر ناحیه جداگانه، مرکز مردمک چشم چپ و راست جستجو می شود. این کار موجب می شود تا محدوده ی جستجو کمتر شده و الگوریتم به حالت بلادرنگ نزدیک تر شود. پس از آن، با استفاده از تصویر افقی و عمودی و معادلات (4) و (5) و تقاطع خطوط، مرکز مردمک ها به دست آورده می شود. در آخرین مرحله، از دو فیلتر کالمن که به صورت موازی چشم ها را ردیابی می کنند و همچنین از آشکارسازی گوشه های چشم برای ردیابی چشم استفاده می شود. روش پیشنهادی شامل 4 مرحله ی کلی است:



آشکارسازی صورت، آشکارسازی ناحیه ی شامل چشم، به دست آوردن مردمک چشم ها و گوشه یابی و ردیابی چشم.

### 1-3-1 آشکارسازی صورت

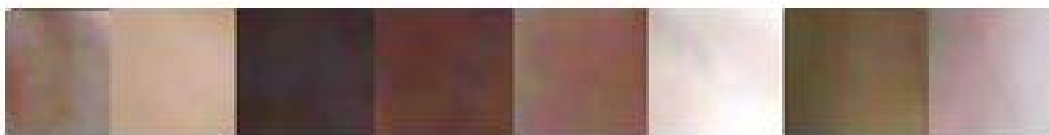
از آنجایی که رنگ نسبت به چرخش صورت ثابت است و پردازش آن نسبت به پردازش بقیه ی ویژگی های صورت سریعتر انجام می شود، در نتیجه، برای آشکارسازی صورت از این ویژگی استفاده خواهد شد. متداولترین فضای رنگ، فضای RGB می باشد که بسیار پرکاربرد بوده و فضای استاندارد ارائه ی تصاویر رنگی است. اما به دلیل آنچه که در بخش 2 بیان شد، تصویر با استفاده از معادله ی (1) به فضای YCbCr تبدیل می شود. شکل 1 تفاوت تصویر یک فرد را در فضای رنگی RGB، YCbCr، مولفه ی Cb و مولفه ی Cr نشان می دهد.



شکل 1: تصویر یک فرد در فضاهای رنگی مختلف (الف) محیط RGB (ب) محیط YCbCr (ج) مولفه ی Cb (د) مولفه ی Cr

### 1-3-1-1 به دست آوردن مدل رنگ پوست

برای ایجاد مدل رنگ پوست، ابتدا یک مجموعه از انواع تصاویر پوست با رنگ و بافت متفاوت آماده شده، سپس به فضای رنگی YCbCr منتقل می شود. پس از آن با استفاده از معادله ی (2)، مدل رنگ پوست به دست می آید. در شکل 2 نمونه هایی از رنگ پوست نشان داده شده است.



شکل 2: نمونه هایی از رنگ پوست های مختلف

### 1-3-2 فاصله ی اقلیدسی

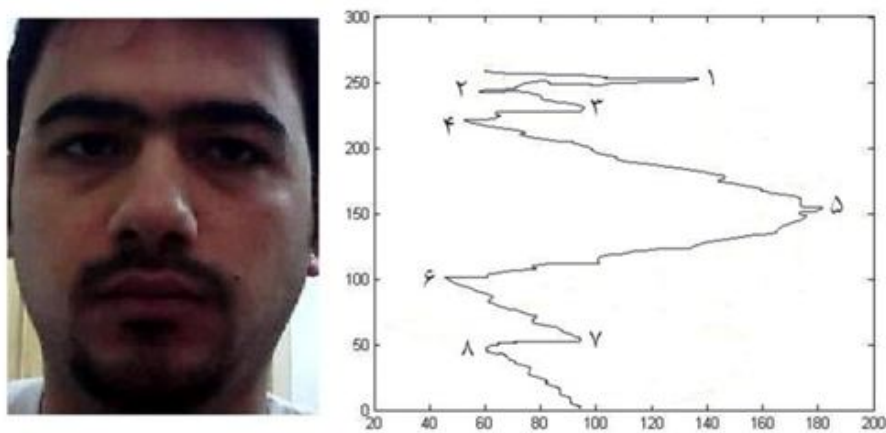
پس از به دست آوردن مدل رنگ پوست، با استفاده از مدل گوسی و فاصله ی اقلیدسی که طبق معادله ی (3) محاسبه می شود، تعلق یا عدم تعلق هر پیکسل از تصویر به مدل به دست آمده مشخص می شود. شکل 3 نتایج حاصل از آشکارسازی صورت افراد مختلف را نشان می دهد.



شکل 3: نمونه هایی از آشکارسازی رنگ پوست افراد با رنگ پوست و شدت نورهای مختلف

### 3-2- استخراج محدوده ی چشم

پس از آشکارسازی ناحیه ی صورت، نوبت به استخراج محدوده ی چشم می رسد. این محدوده که از بالای ابروها شروع شده و تا زیر پلک پایین ادامه دارد شامل دو چشم، دو ابرو و ویژگی های متمایز کننده ی آن ها مانند پلک ها و گوشه های چشم ها می باشد. برای استخراج این ناحیه می توان از تصویر افقی ناحیه ی صورت که از معادله ی (4) محاسبه می شود استفاده نمود. در شکل 4 تصویر افقی صورت فرد را مشاهده می نمایید.



شکل 4: تصویر افقی صورت: 1- پیشانی 2- ابروها 3- فاصله ی بین ابرو و چشم 4- مردمک ها 5- حد فاصل پایین چشم تا تیغه ی بینی 6- سیبیل 7- لب ها 8- ناحیه ی زیر لب ها

همانگونه که در شکل 4 نشان داده شده است، از بالا، اولین دره (شماره ی 2) متعلق به ابرو ها و دومین دره (شماره ی 4) مربوط به مردمک چشم ها می باشد. همانگونه که قبلا به آن اشاره شد، چون تصویر هیچ محدودیتی نداشته و ممکن است صورت چرخش داشته باشد، نمی توان ادعا نمود که دره ی دوم همیشه متعلق به مردمک ها می باشد. چنانچه در تصویر صورت فرد نیز قابل مشاهده است ناحیه ی پیشانی و پایین چشم ها (حدفاصل تیغه ی بینی تا زیر چشم ها) دارای روشنایی بیشتری نسبت به خود چشم ها می باشد. این بیشتر بودن روشنایی سبب می شود تا تصویر افقی این

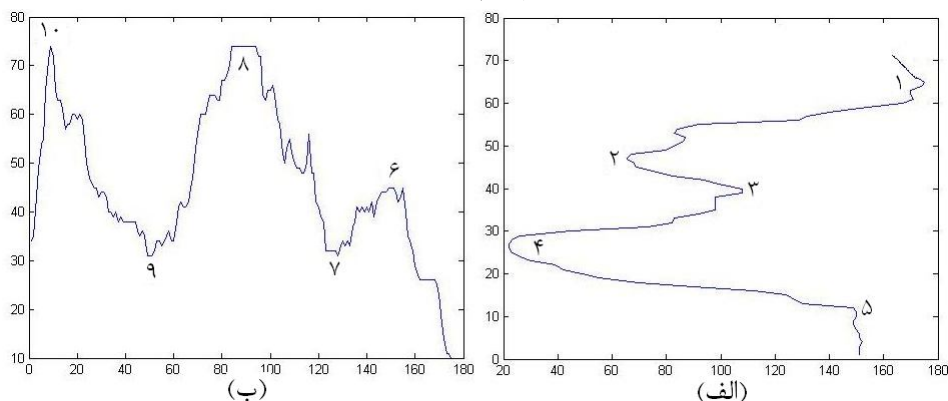
دو محدوده دارای قله شود. بنابراین اگر از بالا به سمت پایین بیاییم، اولین قله (شماره ی 1) مربوط به پیشانی و دومین قله (شماره ی 5) مربوط به ناحیه ی پایین چشم ها می باشد. بنابراین، از نقاط ماکزیمم (قله ها) برای استخراج محدوده ی چشم استفاده می شود. از آن جایی که دومین قله بالای تیغه ی بینی قرار گرفته است، اگر صورت ریش داشته باشد نیز الگوریتم دچار اختلال نخواهد شد. شکل 5 نتیجه ی استخراج محدوده ی چشم با استفاده از تصویر افقی را نشان می دهد.



شکل 5: استخراج محدوده ی چشم از ناحیه ی صورت با استفاده از تصویر افقی

### 3-3- یافتن داوطلب های چشم

برای یافتن داوطلبین چشم، برای شکل 5، تصویر عمودی و افقی طبق معادله های (4) و (5) به دست آمده که نتیجه ی محاسبات در شکل 6 نشان داده شده است. در شکل 6 قسمت (ب)، سه قله (شماره های 6، 8 و 10) و دو دره (شماره های 7 و 9) وجود دارد. همانگونه که در زیر شکل نوشته شده است، شماره ی (8) مربوط به ناحیه ی بین دو ابرو می باشد. می توان از این نقطه و نقاط 6 و 10 برای تقسیم ناحیه ی شامل چشم به دو ناحیه ی چپ و راست استفاده کرد، به گونه ای که ناحیه ی بین نقاط 6 و 8 به عنوان ناحیه ی شامل چشم راست در نظر گرفته می شود. در قسمت (الف)، 2 دره وجود دارد. از بالا، دره ی اول (شماره ی 2) مربوط به ابرو و دره ی دوم (شماره ی 4) مربوط به مردمک چشم می باشد که این نکته برای هر دو ناحیه ی چپ و راست صدق می کند. همچنین در قسمت (ب)، شماره ی 7 مربوط به ابرو و مردمک چشم چپ و شماره ی 9 مربوط به ابرو و مردمک چشم راست می باشد. بنابراین از نقاط گفته شده استفاده کرده و داوطلب های چشم ها به دست آورده خواهد شد.



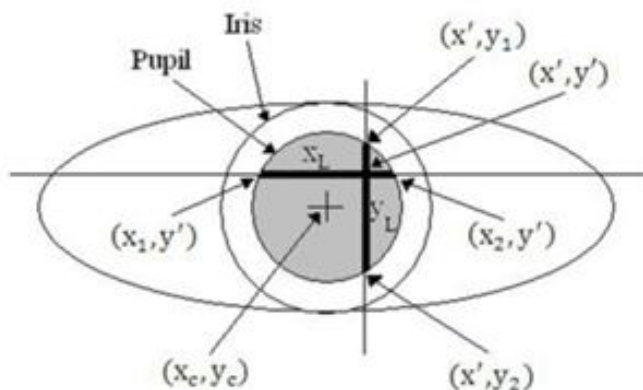
شکل 6: تصویر افقی و عمودی شکل 5: (الف) تصویر افقی: 1- پیشانی 2- ابروها 3-فاصله ی ابرو تا چشم 4- مردمک ها 5- پایین چشم (ب) تصویر عمودی: 6- کنار چشم چپ 7- مردمک و ابروی چپ 8- ناحیه ی بین دو ابرو 9- مردمک و ابروی راست 10- ناحیه ی کنار چشم راست

با توجه به مطالب گفته شده و تصویر افقی و عمودی ناحیه ی چشم ها که در شکل 6 نشان داده شده است، دو داوطلب برای چشم وجود دارد. داوطلب اول ابرو ها و داوطلب دوم مردمک چشم ها می باشد. دلیل اینکه ابرو ها به عنوان داوطلب چشم در نظر گرفته شده است این است که ابرو مانند مردمک چشم دارای تیره گی بوده و تشکیل دره می دهد. همچنین ابرو درون ناحیه ی شامل چشم قرار گرفته است. برای حذف ابرو ها به عنوان داوطلب، از تصویر افقی ناحیه ی صورت که در شکل 6 قسمت (الف) نشان داده شده است استفاده می شود. در این شکل دو دره وجود دارد. با توجه به فیزیک صورت و اینکه ابرو ها در بالای چشم قرار دارند، می توان نتیجه گرفت که از بالا، اولین دره (شماره ی 2) مربوط به ابرو ها می باشد. بنابراین، برای تشخیص مردمک چشم، دره ی اول نادیده گرفته شده و دره ی دوم (شماره ی 4) که مطمئنا مربوط به چشم ها می باشد مورد بررسی قرار داده می شود.

### 3-4- یافتن مرکز مردمک

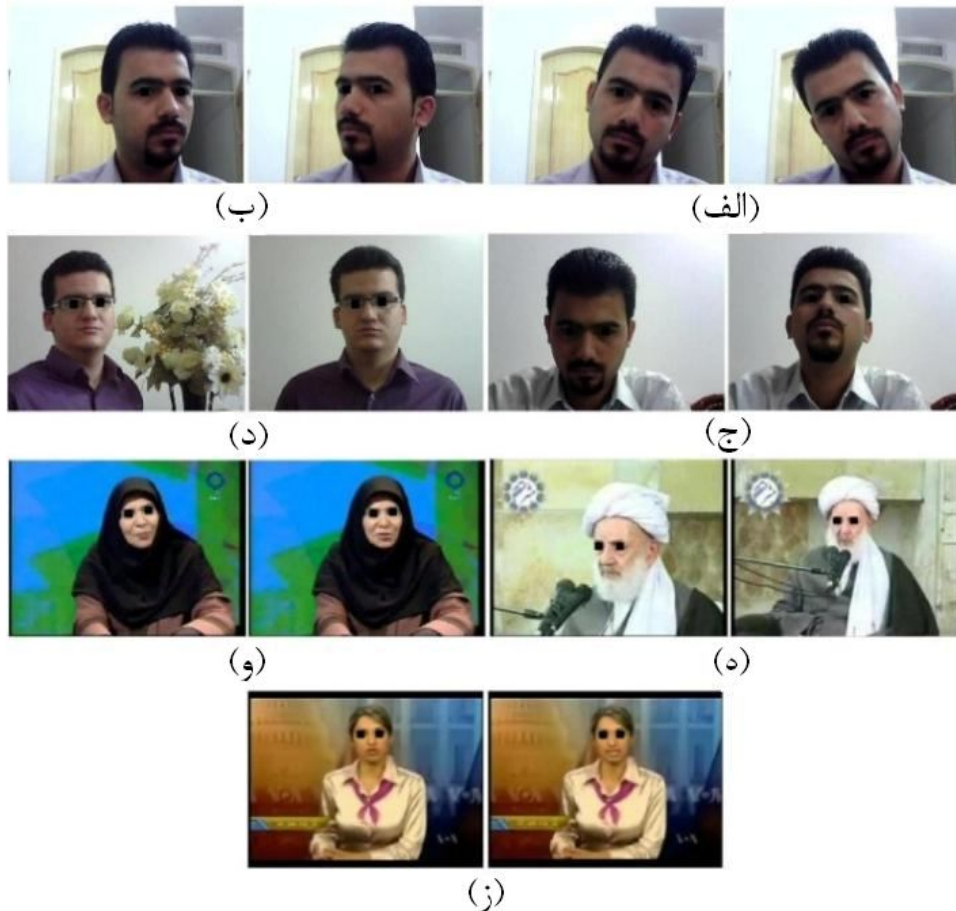
با داشتن یک پیکسل از عنبیه یا مردمک و داشتن دایره ی مردمک، می توان مرکز مردمک را به دست آورد. برای یافتن مرکز مردمک می توان از روش تقاطع خطوط استفاده کرد. در این روش، تنها، یک سطر و ستون از چشم به جای کل محدوده ی چشم مورد پردازش قرار می گیرد. بدین لحاظ، خطی در راستای محور  $x$  و  $y$  رسم می شود تا به لبه ی مرزی عنبیه و صلبیه برسد. چنانچه در شکل 7 نشان داده شده است، اگر مرکز تقاطع خطوط رسم شده  $(x, y)$  و نقاط انتهایی خطوط  $(x_1, y')$ ,  $(x_2, y')$ ,  $(x', y_1)$ ,  $(x', y_2)$  در نظر گرفته شود، مرکز مردمک را می توان از معادله ی (19) به دست آورد.

$$x_c = \frac{x_1 + x_2}{2}, \quad y_c = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (19)$$



شکل 7: استفاده از تقاطع خطوط برای یافتن مرکز مردمک

در شکل 8، تشخیص مردمک در حالت های مختلف بررسی شده است. در این تصاویر، حالاتی که سر چرخش داشته و یا شخص عینک، آرایش، ریش و یا حجاب داشته باشد، نشان داده شده است.

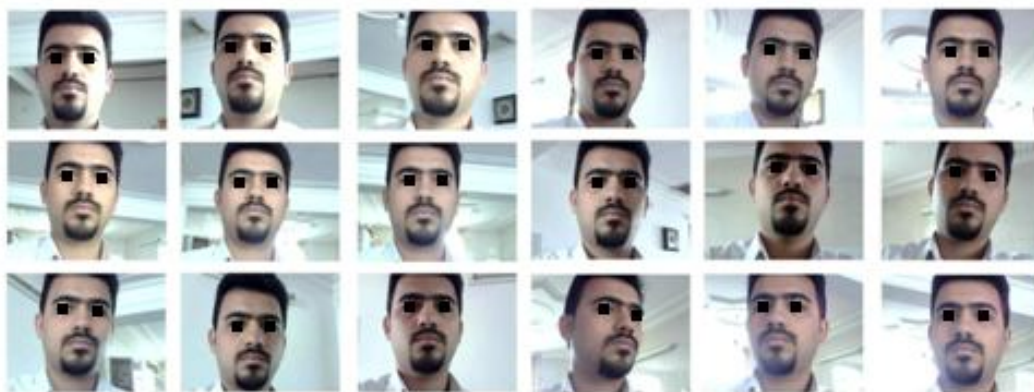


شکل 8: تشخیص مردمک چشم: (الف) چرخش سر به صورت عمودی (ب) چرخش سر به صورت افقی (ج) چرخش سر به بالا یا پائین (د) شخص دارای عینک باشد (ه) شخص ریش داشته باشد (و) شخص حجاب داشته باشد (ز) شخص آرایش داشته باشد

### 3-5- ردیابی چشم

در اکثر کاربردها، پس از آشکارسازی و شناسایی چشم نوبت به ردیابی و تعقیب حرکات چشم یا صورت می رسد. همان مسائل و مشکلاتی که در قسمت آشکارسازی چشم مطرح بود، در ردیابی نیز مطرح است. با این تفاوت که در مواردی مشکلات قوی تر ظاهر شده، تاثیر مخرب بیشتری در پروسه ی تعقیب دارد. به عنوان مثال تغییر شرایط نور محیط گاهها موجب از دست رفتن موقعیت چشم در تصویر شده و باعث می شود مرحله ی آشکارسازی چشم مجدداً تکرار شود. انعکاس نور از روی عینک نیز می تواند همین مشکل را ایجاد کند. برای ردیابی چشم، علاوه بر تخمین و مکان یابی موقعیت چشم ها در فریم های متوالی، حرکات سر و صورت نیز باید مورد توجه قرار داده شده و روشی پیشنهاد گردد که تا حد ممکن نسبت به این تغییرات و مشکلات بی تفاوت باشد. علاوه بر سر، اجزای صورت از جمله پلک ها نیز دارای حرکات مستقل هستند که آن ها را نیز باید مورد توجه قرار

داد. برای پشتیبانی از حرکات سر، خود چشم را ردیابی نکرده و قسمتی از صورت که شامل چشم ها می باشد ردیابی خواهد شد. از بین روش های ارائه شده، فیلتر کالمن دارای پیچیدگی محاسباتی کمتر و سرعت بالاتری بوده و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب تر است. از این رو، برای ردیابی از این فیلتر استفاده خواهد شد. در روش پیشنهادی از دو فیلتر به صورت موازی استفاده شده است که چشم ها را جداگانه ردیابی می کنند و دلیل این امر این است که چشم ها همانگونه که در بخش 3-3 توضیح داده شد، به صورت مجزا تشخیص داده شده اند. فیلتر کالمن در هر مرحله با استفاده از اطلاعات حرکت در زمان های قبل، بردار حالت زمان بعد را طبق معادلات (11) تا (18) پیش بینی می کند. فیلتر کالمن بردار حالت را در زمان  $t+1$  از روی بردار حالت زمان  $t$  تخمین می زند. شکل 9 نتایج ردیابی محدوده ی چشم با استفاده از فیلتر کالمن و تشخیص مردمک را در فریم های مختلف نشان می دهد. در این فریم ها، پس زمینه ی فرد متغیر بوده و فرد در حال حرکت است. همانگونه که مشاهده می کنید، روش پیشنهادی، حرکات سر و حرکات صورت در تصویر را پشتیبانی می کند.



شکل 9: نتایج حاصل از ردیابی یک فرد با فیلتر کالمن در فریم های مختلف

مشکلی که در این جا مطرح است این است که اگر هر دو چشم مسدود یا بسته شود، فیلتر کالمن قادر به ردیابی دقیق نیست و دچار اختلال می شود. برای رفع این مشکل، علاوه بر فیلتر کالمن از مشخصات گوشه های چشم نیز استفاده شده است. برای این کار، در هر ناحیه ی چپ و راست، دو گوشه تشخیص داده می شود. برای یافتن گوشه ها از الگوریتم هریس که در بخش 2 توضیح داده شده است استفاده می شود. در نتیجه، روش پیشنهادی برای ردیابی، ترکیبی از فیلتر کالمن و آشکارسازی گوشه چشم ها می باشد. در روش پیشنهادی، پس از آنکه فیلتر کالمن موقعیت چشم را تخمین زد، موقعیت تخمین زده شده با موقعیت قبلی مقایسه و چنانچه مختصات آن ها از یک سطح آستانه که به صورت تجربی به دست می آید بیشتر باشد، نشان از آن است که ردیابی اشتباه صورت گرفته است. در این حالت از موقعیت یافته شده توسط گوشه ها استفاده می شود.

درست است که در این روش سخت افزار مورد نیاز افزایش یافته و برای هر چشم یک فیلتر اضافه تر مورد استفاده قرار گرفته است، اما ردیابی در حالت چرخش سر و صورت و انسداد و از دست دادن

یکی از چشم‌ها، دقیق‌تر انجام می‌گیرد. همچنین به دلیل اینکه این فیلترها موازی عمل می‌کنند، در سرعت کار تغییر چندانی ایجاد نکرده و ردیابی همچنان به صورت بلادرنگ می‌باشد.

#### 4- نتایج تجربی

شکل 10 نتایج ردیابی محدوده‌ی چشم و تشخیص مردمک با استفاده از روش پیشنهادی را در فریم‌های مختلف نشان می‌دهد. در این شکل، چشم‌ها بسته بوده و همانگونه که در شکل مشاهده می‌فرمایید مشکل بسته بودن چشم‌ها نیز رفع شده و چشم در حالت بسته نیز ردیابی می‌شود. روش پیشنهادی حالت‌های مختلف چرخش سر و صورت، انسداد یا بسته بودن چشم و ردیابی برای افراد دارای عینک، حجاب و آرایش را پشتیبانی می‌کند که نتایج آن در شکل‌های 11 تا 13 نشان داده شده است.



شکل 10: نتایج حاصل از ردیابی یک فرد با روش ترکیبی در فریم‌های مختلف



شکل 11: نتایج حاصل از ردیابی فرد دارای عینک



شکل 12: نتایج حاصل از ردیابی فرد دارای حجاب



شکل 13: نتایج حاصل از ردیابی فرد دارای آرایش

نتایج آماری نرخ تشخیص چشم در جدول 1 بیان شده است. در این جدول برای هر مجموعه سه فیلم با شرایط مختلف در نظر گرفته شده است و نتایج بیان شده میانگین تشخیص یا عدم تشخیص برای این مجموعه‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان ادعا نمود این روش تا حد زیادی

محیط های بدون محدودیت و حالت های آرایش، حجاب، ریش، عینک و چرخش را پشتیبانی می کند.

جدول 1: نرخ تشخیص صحیح و اشتباه چشم

تعداد کل فریم ها	تشخیص اشتباه دو چشم	تشخیص اشتباه یک چشم	تشخیص صحیح دو چشم
1980	3/28%	2/02%	94/7%
1470	3/74%	3/4%	92/86%
1590	7/55%	5/35%	87/1%
1500	4/67%	3/33%	92/0%
2220	4/5%	3/38%	92/12%
مجموع = 8760	4/68%	3/42%	91/9%

نتایج نوشته شده در جدول 1 را می توان به صورت زیر تحلیل و توجیه نمود:

- به دلیل اینکه برای یافتن محدوده ی چشم از تصویر افقی صورت و مقادیر ماکزیمم استفاده شده است و این مقدار برای پایین چشم، بین پلک پایین و تیغه ی بینی قرار دارد، اگر شخص ریش داشته باشد نیز نتایج خوب و قابل قبولی به دست می آید.
  - دلیل اینکه نتایج به دست آمده با عینک، نسبت به بقیه ی موارد کمتر است این است که هنگامی که شخص عینک داشته باشد و چشم او مسدود و یا بسته شود، چون عینک گوشه های چشم را می پوشاند و گوشه ها از دست داده می شود، ردیابی با مشکل مواجه می شود.
  - چون برای تشخیص مردمک از ویژگی رنگ استفاده شده است و آرایش، رنگ مردمک را تغییر چندانی نمی دهد، با آرایش نتایج قابل قبولی به دست آمده است. اما از آنجایی که آرایش، ساختار گوشه های چشم را تغییر می دهد، در این حالت نتایج به دست آمده نسبت به حالت بدون ریش کمتر است.
  - دلیل اینکه نتایج به دست آمده با حجاب نسبت به حالت بدون ریش کمتر است این است که اگر شخص حجاب داشته و سر او بچرخد و چشمش مسدود شود، چون حجاب گوشه های چشم را می پوشاند، ردیابی با مشکل روبرو شده و نرخ تشخیص کاهش می یابد.
- مقایسه ی بین روش پیشنهادی و روش های دیگر به دلیل اجرای روش ها در پلتفرم ها و پایگاه داده های مختلف، مشکل است. بنابراین، بدنه ی اصلی این روش ها از نظر تئوری با هم مقایسه می شود. در جدول 2، روش پیشنهادی با سه روش مشابه از لحاظ روش استفاده شده و پشتیبانی از شرایط مختلف از جمله شرایط نوری، چرخش سر، وجود عینک، ریش، آرایش، حجاب، انسداد چشم ها و وضوح تصاویر به کار گرفته شده، مقایسه شده است.



جدول 2: مقایسه ی روش پیشنهادی با سه روش مشابه

تصاویر با وضوح بالا	تشخیص در شرایط نوری مختلف، چرخش سر، وجود عینک، ریش، آرایش، حجاب و انسداد چشم ها	روش استفاده شده برای آشکارسازی و ردیابی چشم
نیاز دارد	شرایط نوری، چرخش سر و وجود عینک را پشتیبانی می کند	بی نظمی شدت رنگ در ناحیه ی اطراف چشم [5] مقاله ی
نیاز ندارد	وجود عینک و ریش را پشتیبانی می کند	ترکیب شکل چشم و شدت تصویر [8] مقاله ی
نیاز دارد	چرخش سر را پشتیبانی می کند	ویژگی شکل، ساختار و گوشه ها [12] مقاله ی
نیاز ندارد	چرخش سر حدود 40 درجه، شرایط نوری مختلف، وجود عینک، ریش، آرایش، حجاب و انسداد چشم ها را پشتیبانی می کند	روش پیشنهادی ترکیب شدت رنگ اطراف چشم، فیلتر کالمن و گوشه یابی

نتایج زیر از جدول 2 برداشت می شود:

- در [5] از بی نظمی شدت رنگ در ناحیه ی اطراف چشم برای آشکارسازی و ردیابی استفاده شده است. این روش، شرایط نوری مختلف، چرخش سر و وجود عینک را پشتیبانی کرده و در صورت وجود آرایش، ریش، حجاب و انسداد چشم ها، قادر به ردیابی نیست. همچنین تصاویر استفاده در این روش بایستی دارای وضوح بالا باشند.
- در [8] از ترکیب شکل چشم و شدت تصویر برای آشکارسازی و ردیابی استفاده شده است. این روش، وجود عینک و ریش را پشتیبانی کرده و در صورت چرخش سر، وجود آرایش، حجاب، انسداد چشم ها و شرایط نوری مختلف، قادر به ردیابی نیست. همچنین در این روش نیاز به تصاویر با وضوح بالا نیست.
- در [12] از ویژگی شکل، ساختار و گوشه های چشم برای آشکارسازی و ردیابی استفاده شده است. این روش تنها چرخش سر را پشتیبانی کرده و شرایط نوری مختلف، وجود عینک، ریش، آرایش، حجاب و انسداد چشم ها، قادر به ردیابی نیست. همچنین تصاویر استفاده در این روش بایستی دارای وضوح بالا باشند.
- در روش پیشنهادی از ترکیب شدت رنگ اطراف چشم، فیلتر کالمن و گوشه یابی برای آشکارسازی و ردیابی استفاده شده است. روش پیشنهادی، شرایط مختلف نوری، چرخش سر، وجود عینک، ریش، آرایش، حجاب و انسداد چشم ها را پشتیبانی می کند. همچنین در این روش نیاز به تصاویر با وضوح بالا نیست.

## 5- نتیجه گیری

در این مقاله، روش جدیدی برای ردیابی چشم انسان در محیط های بدون محدودیت ارائه گردید. با توجه به آزمایشات در تمامی شرایط مختلف از جمله تصاویر با پس زمینه ی پیچیده، تصاویر با تغییر شرایط نوری، چرخش سر، وجود ریش، حجاب، عینک، آرایش و انسداد و بسته بودن چشم، نتایج قابل

قبولی به دست آمد. بنابراین، در این روش بر خلاف روش های گذشته، تاثیرات محیطی حداقل تاثیر را در کارایی دارد. آزمایشات نشان داد که روش پیشنهادی، پیچیدگی محاسباتی کم و حداکثر پایداری را داشته و حتی الامکان بدون محدودیت بوده و به صورت بلا درنگ می باشد.

## مراجع

- [1] S. Yamamoto, V. G.Moshnyaga, "Algorithm Optimizations for Low-Complexity Eye Tracking", *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, San Antonio, TX, 2009.
- [2] K.N. Kim, R.S. Ramakrishna, "Vision-Based Eye-Gaze Tracking for Human Computer Interface", *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 1999.
- [3] R. Kothari, J.L. Mitchell, "Detection of Eye Locations in Unconstrained Visual Images", *IEEE International Conference on Image Processing*, Lausanne, 1996.
- [4] W. Liting, D. Xiaoqing, F. Chi, "Face Live Detection Method Based on Physiological Motion Analysis", *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 14 , Iss. 6, 2009.
- [5] M. Hassaballah, S. Ido, "Eye Detection Using Intensity and Appearance Information", *IAPR Conference on Machine Vision Applications*, Japan, 2009.
- [6] Z. Zhu, K. Fujimura, Q. Ji, "Real-Time Eye Detection and Tracking under Various Light Conditions", *Eye Tracking Research & Applications Symposium*, USA, 2002.
- [7] A. Hyrskykari, "Utilizing Eye Movements: Overcoming Inaccuracy while Tracking the Focus of Attention during Reading", *Computers in Human Behavior in Attention aware systems*, Vol. 22, No. 4, 2006.
- [8] K. Peng, L. Chen, S. Ruan, G. Kukharev, "A Robust Algorithm for Eye Detection on Gray Intensity Face without Spectacles", *JCS&T*, Vol. 5 No. 3, 2005.
- [9] K.C.K. Lee, J. Schiffman, B. Zheng, W.C. Lee, H.V. Leong, "A System for Tracking Nearest Surrenders in Moving Object Environments", *IEEE International Conference on Pervasive Services*, Lyon, France, 2006.
- [10] Z. Qian, D. Xu, "Automatic Eye Detection Using Intensity Filtering and K-means Clustering", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 31, Iss. 12, USA, 2010.
- [11] B. Kroon, S. Maas, S. Boughorbel, A. Hanjalic, "Eye Localization in Low and Standard Definition Content with Application to Face Matching", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 113, Iss. 8, 2009.
- [12] Y. Tian, T. Kanade, J.F. Cohn, "Dual State Parametric Eye Tracking", *IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Grenoble, 2000.
- [13] F.H.C. Tivive, A. Bouzerdoum, "A Fast Neural-Based Eye Detection System", *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, Hong Kong, China, 2005.
- [14] Z. Niu, S. Shan, S. Yan, X. Chen, W. Gao, "2D Cascaded Adaboost for Eye Localization", *IEEE International Conference on Pattern Recognition*, Hong Kong, China, 2006.
- [15] D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer, "Kernel-Based Object Tracking", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 25, Iss. 5, USA, 2003.
- [16] Z. Zhu, Q. Ji, K. Fujimura, "Combining Kalman Filtering and Mean Shift for Real Time Eye Tracking under Active IR Illumination", *IEEE International Conference on Pattern Recognition*, Washington, DC, USA, 2002.
- [17] G. Veneri, P. Federighi, F. Rosini, A. Federico, A. Rufa, "Influences of Data Filtering on Human-Computer Interaction by Gaze-Contingent Display and Eye-Tracking Applications", *Computers in Human Behavior*, Vol. 26, Iss. 6, Amsterdam, Netherland, 2010.
- [18] X. Long, O.K. Tonguz, A. Kiderman, "A High Speed Eye Tracking System with Robust Pupil Center Estimation Algorithm", *IEEE International Conference Engineering in Medicine and Biology Society*, Lyon, France, 2007.
- [19] Z. Zhu, Q. Ji, "Eye and Gaze Tracking for Interactive Graphic Display", *Machine Vision and Applications*, Vol. 15, No. 3, USA, 2004.
- [20] T. Liu, S. Zhu, "Eyes Detection and Tracking Based on Entropy in Particle Filter", *International Conference on Control and Automation*, Vol. 2, Budapest, 2005.
- [21] W. Zheng, Z. Lu, X. Xu, "A Novel Skin Clustering Method for Face Detection", *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 3, Beijing, 2006.
- [22] Q. Ji, X. Yang, "Real-Time Eye, Gaze, and Face Pose Tracking for Monitoring Driver Vigilance", *Elsevier Science*, Vol. 8, Iss. 5, London, UK, 2002.