

# ردیابی حرکات چشم (Eye Tracking) و کاربردهای آن در ارگونومی

دکتر محمد پرنیان پور<sup>۱</sup>، دیاکو مردان‌بگی<sup>۲</sup>\* و محمد سرشار<sup>۲</sup>

۱ دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک

۲ دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی مکانیک

E-mail: parnianpour@sharif.edu, dmardanbeigi@mecheng.iust.ac.ir, msarshar@mecheng.iust.ac.ir

## چکیده

در این مقاله به معرفی فن آوری جدید ردیابی حرکات چشم (*Eye Tracking*) و تکنیک های رایج استفاده شده در آن پرداخته شده است. با توجه به اهمیت یکی از این تکنیکها به نام بازتاب قرنیه-مردمک (*Pupil-Corneal Reflection*) اندکی بیشتر با این روش و محدودیت های امروزی آن آشنا می شویم. همچنین به برخی کاربردهای رایج این فن آوری در زمینه های مختلف، اشاره ای خواهد شد. در پایان ایده های جدیدی در استفاده از این سیستم ها در زمینه ارگونومی ارائه می گردد. به طور قطع این فن آوری در آینده ای نه چندان دور، نقش برجسته ای در پیشرفت تحقیقات علمی مختلف و نیز طراحی ابزار و محیط های کاری ایفا خواهد کرد.

واژه های کلیدی: ردیابی حرکات چشم، **Eye tracking**، ارگونومی

## ۱- مقدمه

فرانسوی دریافت که در فرایند خواندن یک متن، در چشم بجای یک حرکت نرم روی کلمات، یک سری حرکات پرشی تند به نام ساکاید (*Sacades*) و نقاط مکث یا فیکسیشن (*Fixations*) دیده می شود [۱].

هیوی (*Heuy*) اولین ردیاب چشم را با استفاده از نوعی لنز تماسی ساخت. در وسط این لنز سوراخی برای مردمک وجود داشت و یک اشاره گر آلومینیومی به آن متصل بود که با حرکت کره چشم این اشاره گر نیز حرکت می کرد. او با این روش به اندازه گیری برخی حرکات چشم و ساکاید های کوچک پرداخت و دریافت که چشم در هنگام خواندن متن

ردیابی حرکات چشم (*Eye Gaze Tracking*, EGT) به فرایندی گفته می شود که طی آن بتوان نقطه دید ناظر را پیدا کرد، یا اینکه بتوان حرکات چشم شخص نسبت به سر او را اندازه گیری نمود. وسیله ای را که بتوان با آن به این امر نایل آمد، ردیاب حرکات چشم (*Eye Tracker*) گویند. تکنیک های مختلفی از اواخر قرن نوزدهم میلادی تا کنون برای ردیابی حرکات چشم استفاده شده.

در سال ۱۸۷۹ لوئیس جاوال (*Louis Émile Javal*)

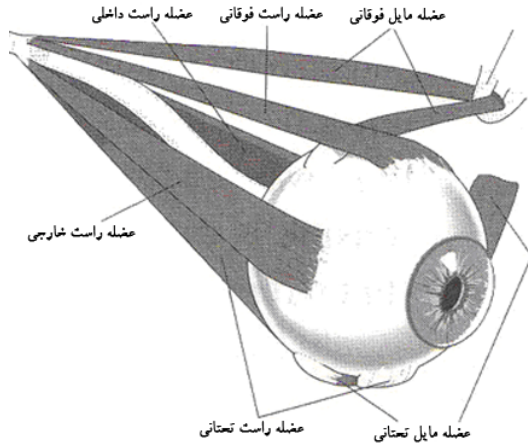
تنها روی برخی کلمات مکتب میکند [۱].

گیرنده های نوری در آن، تقریباً تمام دید دقیق انسان از آن نقطه صورت می گیرد.

ظاهراً اولین ردیاب غیرتهاجمی (non invasive) نیز توسط جورج بوسول (George Buswell) در شیکاگو ساخته شد. او از تاباندن نور به چشم و ضبط بازتاب آن از چشم روی یک فیلم عکسبرداری کمک می گرفت و با این روش مطالعات اصولی در مورد خواندن و نگریستن به یک عکس انجام داد [۱].

## ۲-۲- عضلات چشم

چشم انسان دارای ۶ عضله است که از جهات مختلف به آن متصل شده و حرکات مختلف آن را ممکن می سازند (شکل ۲).



شکل ۲: عضلات متصل به چشم

در سال ۱۹۵۰ آلفرد یاربوس (Yarbus) [۲] مطالعات زیادی در زمینه EGT انجام داد و هنوز در این زمینه به مطالب کتابی که در سال ۱۹۶۷ تالیف کرد ارجاعات زیادی می شود. از سال ۱۹۷۰ به بعد با وجود عدم دسترسی به سیستم های کاربردی ردیاب چشم، تحقیقات در زمینه EGT و کاربردهای آن به سرعت رشد پیدا کرد. مطمئناً امروزه با وجود سیستم های پیشرفته می توان به ساخت ردیاب های دقیق تری در EGT دست پیدا کرد و بیش از پیش کاربردهای آن را تحقق بخشید.

در ابتدا لازم است معرفی مختصری در مورد ساختار چشم ارائه شود.

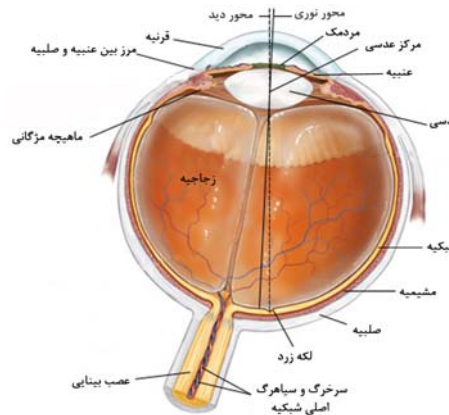
برای خلاصه سازی، نام و اثر هر عضله در جدول (۱) مشخص شده است.

## ۲- ساختار چشم انسان

### ۲-۱- کره چشم

جدول ۱: عضلات چشم و حرکت ایجادی هر کدام

نام عضله	سطح اتصال عضله	حرکت ایجادی
عضله راست فوقانی	سطح جلویی، فوقانی	به بالا
عضله راست تحتانی	سطح جلویی، تحتانی	به پائین
عضله راست خارجی	سطح جلویی، خارجی	به سمت خارج
عضله راست داخلی	سطح جلویی، داخلی	به سمت داخل
عضله مایل فوقانی	سطح خلفی، فوقانی، خارجی	چرخش افقی به داخل
عضله مایل تحتانی	سطح خلفی، تحتانی، خارجی	چرخش افقی به خارج



شکل ۱: تصویر مقطع جانبی چشم

اجزای مهم چشم انسان در شکل ۱ نشان داده شده است. مهمترین ترین بخش چشم شبکیه آن است. در روی شبکیه نقطه ای به نام لکه زرد وجود دارد که به دلیل تمرکز

## ۲-۳- حرکات چشم

حرکات چشم را می توان از دو منظر دسته بندی کرد: دسته بندی آناتومیک حرکات چشم و دسته بندی رفتاری حرکات چشم.

### ۲-۳-۱- حرکات آناتومیک چشم

چشم به واسطه اتصال به ۶ عضله ای که برشمرده شد، ۶ حرکت اصلی و در ترکیب چهار حرکت اول با هم، مجموعاً در ۱۰ جهت حرکات آناتومیک دارد [۳].

حرکات آناتومیک چشم در سه بخش کلی طبقه بندی می شوند [۴]: الف) حرکاتی که شامل یک چشم می شود، ب) حرکاتی که هر دو چشم به طور موازی انجام می دهند و ج) حرکاتی که دو چشم در خلاف یکدیگر انجام می دهند.

### ۲-۳-۲- حرکات رفتاری چشم

در بررسی رفتاری، حرکات چشم به دو گونه ارادی و غیر-ارادی تقسیم می شوند. حرکت های ارادی چشم عبارتند از:

- ساکاید (Saccade) که حرکتی تند و پرش گونه است [۵] و سرعت آن تا حداکثر ۱۰۰۰ درجه بر ثانیه می رسد. این حرکت برای قرار دادن تصویر در لکه زرد و به جهت افزایش دقت آن انجام میشود [۶].
- دنبال کردن آرام (Smooth Pursuit) که حرکتی است پیچیده و فقط زمانی ممکن است که هدفی برای تعقیب وجود داشته باشد [۳].

حرکت های غیر ارادی چشم نیز شامل میکروساکاید [۷]، میکروترمور [۸] و حرکات سریع چشم هنگام خواب است. این حرکات به میزان زیادی در تشخیص اغما و انواع ناهنجاری های اعصاب و روان به کار می آیند.

در جمع بندی این بخش، باید اشاره کنیم که مجموعه حرکات ارادی چشم برای دو هدف انجام می شوند: متمرکز کردن دید یا اصطلاحاً زل زدن (Gaze)، و حرکت دادن نقطه دید (Gaze Shifting) [۹].

### ۲-۳- ردیابی حرکات چشم

می توان سیستم های کنونی ردیاب چشم را از لحاظ نحوه ارتباط با کاربر به دو دسته کلی تقسیم کرد:

الف) سیستم هایی که بر روی سر نصب می شوند.

#### Head-mounted tracker

ب) سیستمهایی که ارتباط فیزیکی با کاربر ندارند.

#### Remote eye gaze tracker (REGT)

دسته اول به اصطلاح تهاجمی (invasive) بوده و با وجود دقت بیشتر نسبت به دسته دوم، برای استفاده های طولانی مدت مناسب نمی باشد و بیشتر جنبه آزمایشگاهی دارند.

یک ردیاب حرکات چشم از هر نوعی که باشد، در حالت ایده آل باید ویژگی های ذیل را دارا باشد:

- (۱) حداقل مزاحمت برای کاربر و عدم ایجاد محدودیت در میدان دید کاربر. (۲) مقاوم بودن در برابر میکروساکایدها، حرکات سر و بدن، تغییرات روشنایی محیط و استفاده از عینک. (۳) دقت بالا در اندازه گیری کوچک ترین حرکات چشم. (۴) تفکیک پذیری (Resolution) بالا. (۵) داشتن بازه مناسب در اندازه گیری جابجایی و سرعت حرکات چشم. (۶) عکس العمل سریع. (۸) اندازه گیری بلادرنگ (Real time). (۹) تکرارپذیری و قابلیت اطمینان. (۱۰) حداقل نیاز به فرایند کالیبراسیون.

### ۴- روشهای متداول در ردیابی حرکات چشم

#### ۴-۱- تکنیک مبتنی بر الکتروآکلوگرافی

##### (Electro-Oculography, EOG)

این روش برای نخستین بار توسط کافمن (Kaufman) ارائه گردید [۱۰] و بر پایه اندازه گیری پتانسیل الکتریکی چشم (Electrooculogram) استوار است. امروزه با وجود امکان دسترسی به دقت های بالا با این روش، به علت حساسیت بالای سیستم و نسب الکتروودهایی در اطراف چشم شخص، استفاده از آن محدود به تحقیقات آزمایشگاهی بوده و برای کاربردهای تجاری و طولانی مدت مناسب نمی باشد.

#### ۴-۲- تکنیک مبتنی بر استفاده از لنز تماسی:

نخستین بار رابینسون (Robinson) [۱۱] از یک کوپل ریز استفاده کرده و آن را روی یک لنز تماسی جای داد.

#### ۴-۳-۲- ردیابی مردمک (PUPIL TRACKING)

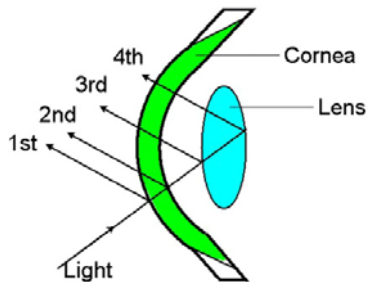
این روش نیز مشابه روش بالا می باشد با این تفاوت که از مرز بین مردمک و عنبیه استفاده میشود. موقعیت سر همچنان باید ثابت بوده و یا دستگاه روی سر نصب شود.

از ویژگی های این روش نسبت به روش قبل اینست که مردمک توسط پلک ها پوشیده نمی شود و قابلیت ردیابی حرکات عمودی چشم را نیز دارا می باشد. این مرز نسبت به مرز بین عنبیه و صلبیه واضح تر بوده و دقت اندازه گیری را بالاتر می برد. عیب این روش هم اینست که اختلاف رنگ بین عنبیه و مردمک کمتر بوده و تشخیص این مرز در تصویر دشوارتر است [۱۳].

#### ۴-۳-۳- بازتاب قرنیه-مردمک:

#### (CORNEAL-PUPIL REFLECTION)

برای کاهش تأثیرات حرکت سر و بدن شخص، ابتکار جالبی بکارگرفته شد و آن استفاده از بازتاب نور از چشم می باشد.



شکل ۳: بازتاب نور در لایه های مختلف قرنیه و عدسی [۱۲].

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، هنگامیکه پرتو نور به چشم می تابد چند نوع بازتاب نور در لایه های مختلف جلویی چشم خواهیم داشت که به آن تصاویر پُرکنجی (Purkinje images) می گویند. اولین بازتاب پُرکنجی را گلینت (Glint) گویند [۱۲].

شایان ذکر است که منبع نور استفاده شده در مقابل شخص از نوع مادون قرمز می باشد بنابراین مزاحمتی برای او ایجاد نمی کند. تصاویر هم توسط یک دوربین مادون قرمز ضبط می شود. برای تشخیص راحت تر مردمک نیز از یک منبع نورانی در امتداد خط دید چشم استفاده می کنند تا با بازتاب نور از شبکیه، مردمک در تصویر به صورت روشن

این لنز به طور کامل روی صلبیه چشم را می گرفت و با یک حالت مکنندگی خاص سفت به سطح آن می چسبید تا با حرکات سریع چشم جابجا نشود. سپس حرکات کره چشم با جریان القا شده در کویل توسط یک میدان الکترومغناطیسی، اندازه گیری می شد. استفاده از لنز در ردیابی حرکات چشم، هم اکنون با سیستم های دقیق تر و کوچکتر انجام می شود اما مشابه روش قبل به سبب تهاجمی بودن و دشواری کار بیشتر جنبه آزمایشگاهی دارد.

#### ۴-۳-۴- تکنیک مبتنی بر بازتاب نور:

این سیستم ها که از فاصله مشخصی نسبت به چشم به ردیابی حرکات آن می پردازند، بر پایه استفاده از دوربین و استخراج مشخصات ظاهری چشم استوارند. بنابراین استفاده از آنها معمولاً بصورت غیرتهاجمی و REGT می باشد، اما به علت ضعف نسبی این تکنیکها در برابر حرکات سر استفاده از آنها به صورت سیستم های قابل نصب روی سر نیز رایج بوده که البته کاربرد های مربوط به خود را دارند. عوامل زیادی در پایین آوردن دقت این تکنیکها دخیلند، همچون: خطای ذاتی روش، استفاده از عینک و موانع شفاف، تغییرات روشنایی محیط، خشکی چشم و برخی حرکات سر [۱۲].

روش های نوری رایج و معمول را می توان به پنج دسته تقسیم بندی کرد:

#### ۴-۳-۱- ردیابی مرز عنبیه و صلبیه:

#### (LIMBUS TRACKING)

به علت اختلاف رنگ میان عنبیه و صلبیه در تصویر گرفته شده از چشم، این مرز (Limbus) و با تکنیک های پردازش تصویر قابل تشخیص وردیابی است. البته باید سر کاربر با تجهیزاتی ثابت نگه داشته شود و یا ردیاب روی سر او محکم و ثابت شود. از آنجائی که گاه بخشهایی از عنبیه توسط پلکها پوشیده می شود بهتر است از این روش برای ردیابی حرکت های افقی چشم استفاده شود. لازم به ذکر است که دقت و تفکیک پذیری این روش نسبتاً پایین است [۱۳].

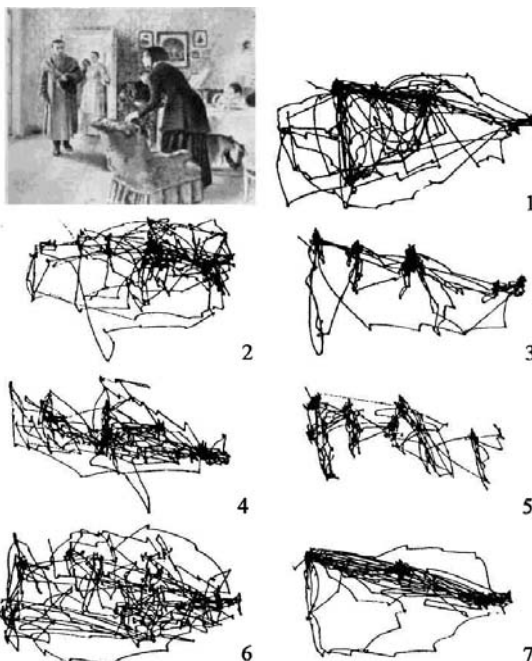
درآید.

## ۵- الگوهای حرکتی چشم

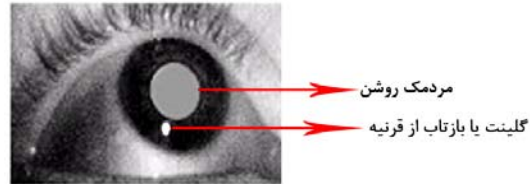
کاینمن (Kahenman) [۱۴] الگوهای حرکتی روزمره چشم انسان را به سه دسته تقسیم بندی می کند. این الگوها از واحدهای حرکتی معرفی شده در ۲-۳-۱ بوجود می آیند :

(۱) تماشای بی اختیار (Spontaneous looking): هنگامیست که بیننده بدون هیچ منظور و هدف خاصی منظره و یا عکسی را نگاه میکند. مسلماً نقاطی از تصویر که حاوی اطلاعات بیشتری هستند و یا جلب توجه بیشتری میکنند نظر بیننده را بیشتر جلب می کنند و آنچه که الگوی حرکتی چشم را در این شرایط تعیین میکند مشخصاتی چون: پیچیدگی، تازگی، عدم تناسب و ... است، هرچندکه شناخت قبلی از تصویر نیز در این الگو دخیل است.

(۲) تماشای هدفمند (Task-Relevant looking): این الگو هنگامی بوجود می آید که شخص به دنبال چیزی در تصویر می گردد یا سوال و هدف خاصی در ذهن دارد.



شکل ۵: الگوی حرکتی بدست آمده در آزمایش یاربوس [۲]  
(۱) تماشای آزاد (۲) تعیین رابطه افراد با هم (۳) تعیین سن افراد (۴) قبل از ورود مرد، افراد مشغول چه کاری بودند (۵) بخاطر سپردن سن افراد (۶) بخاطر سپردن مکان افراد و اشیاء (۷) فرد تازه وارد چه مدت از خانواده دور بوده



شکل ۴: تصویر گلینت و مردمک

چنانچه گلینت به همراه انعکاس نور از شبکیه با یک دوربین مادون قرمز ثبت شود یک نقطه نورانی و یک دایره نسبتاً روشن در تصویر دیده می شود (شکل ۴). وضعیت این دو نسبت به هم می تواند تعیین کننده نقطه دید ناظر باشد. هنگامیکه شخص به صفحه نمایش نگاه میکند و موقعیت منبع نور مادون قرمز و دوربین ثابت باشد، چون چشم تقریباً حول مرکز یک کره دوران می کند موقعیت گلینت در تصویر ثابت خواهد بود. مرکز مردمک با مرکز گلینت یک بردار تشکیل می دهد که می تواند به عنوان معیاری جهت تعیین نقطه دید کاربر بکار رود و با یک کالیبراسیون ساده می توان مختصات نقطه دید کاربر روی صفحه نمایش را تعیین کرد.

عیب ابتدائی و اساسی این روش تصویر نا مناسب از چشم ناظر است به طوریکه با تغییر فاصله سر از دوربین، انطباق (Focus) تصویر چشم در دوربین به هم می خورد و با جابجائی سر ممکن است تصویر چشم از میدان دید دوربین خارج شود، و یا با چرخش زیاد چشم ممکن است تصویر نقطه نورانی از عنبره خارج شود. که البته با دوربین های بهتر والگوریتم های بهتر تا حد زیادی می توان برای این عیوب فائق آمد. این روش به عنوان کاربردی ترین متد نوری شناخته می شود.

## ۴-۳-۴- ردیابی سایر تصاویر پُرکنجی:

### (PURKINGES TRACKING)

باکمک سایر تصاویر پُرکنجی مثل بازتاب اول با چهارم می توان دقت کار را بالاتر برد، ولی با توجه به ضعیف بودن پُرکنجی چهارم، این کار دشوارتر است.

در یکی از آزمایش‌هایی که یاربوس (Yarbus) انجام داد، تغییرات در الگوی حرکتی چشم (بنا به نوع فکر و هدف ناظر از تماشای عکس) کاملاً مشهود می‌باشد (شکل ۵).

۳) الگوی متناسب با فکر

(Orientation of thought looking): هنگامی است که ناظر توجهی به منظره جلوی خود ندارد و چشم متناسب با آنچه در فکر او میگذرد حرکت میکند. مثلاً هنگامیکه از شخص خواسته می‌شود که کلمه‌ای را هجی کند کلمه را در ذهن تصور میکند و سپس چشم خود را از ابتدای کلمه تا آخر آن حرکت می‌دهد. برای روشن شدن اهمیت بررسی الگوهای حرکتی چشم می‌توان به ارتباط میان برخی کمیت‌های قابل اندازه‌گیری با EGT در این الگوها و ادراکات ذهنی شخص اشاره کرد:

تعداد فیکسیشن (fixation) در کل تصویر در برخی کاربردها گویای نامنظم بودن تصویر و جستجوی ناموفق در آن است. مدت زمان بیشتر فیکسیشن و خیره شدن به یک نقطه یا ناحیه می‌تواند گویای پیچیدگی و طولانی بودن زمان درک محتوای آن نقطه باشد. نسبت تعداد فیکسیشن‌ها در یک ناحیه کوچک یا یک نقطه می‌تواند گویای اهمیت آن نقطه باشد [۱۵]. فیکسیشن‌های کوتاه با ساید‌های کوتاه بین آنها در یک ناحیه می‌تواند گویای سادگی درک آن ناحیه باشد و جستجوی شخص برای کسب اطلاعات اضافی از آن باشد.

## ۶- کاربردها

به طور کلی می‌توان گفت کاربردهای سیستم‌های ردیاب حرکت چشم به دو دسته تقسیم می‌شوند [۱۶]:

۱) استفاده‌های تشخیصی (diagnostic): تشخیص بیماری، ناهنجاری‌های جسمی، عصبی، روحی و...

۲) استفاده‌های متقابل (interactive): تبادل اطلاعات میان ماشین و انسان و ...

در اینجا تنها به برخی از زمینه‌های کاربردی ردیابی حرکات چشم اشاره می‌شود:

مطالعات ادراکی، تحقیقات پزشکی، ارگونومی و فاکتورهای

انسانی، استفاده از کامپیوتر، شبیه‌سازهای وسایل نقلیه، شبیه‌سازهای آموزشی، واقعیت مجازی، آموزشهای ورزشی، کاربردهای تجاری (تبلیغ، بازاریابی، بهره‌وری وب)، طراحی درست راهنماها، وسایل ارتباطی معلولین، صنایع نظامی، بهبود ارتباطات تصویری و ویدئویی [۱۷].

## ۶-۱- کاربرد در ارگونومی

در واقع یک ردیاب حرکات چشم (Eye Tracker) به نوعی یک ابزار اندازه‌گیری می‌باشد، بنابراین می‌تواند در کنار سایر تجهیزات اندازه‌گیری که در ارگونومی بکارگرفته می‌شود، از آن بهره‌گرفت. با این تفاوت که این ابزار نه تنها مشخصات فیزیکی و حرکتی چشم انسان را در اختیار محقق قرار می‌دهد، بلکه با آن می‌توان به برخی فرایندهای ادراکی شخص هم پی برد. که این امر در نهایت می‌تواند به تصمیم‌گیری صحیح‌تر ارگونومیست منجر شود.

در اینجا به چند نمونه از کاربردهایی که این فن‌آوری جدید می‌تواند در زمینه ارگونومی ایفا کند، اشاره می‌شود:

۱) یکی از موارد مهم که یک ارگونومیست در طراحی یک ماشین رعایت می‌کند محل ابزارها و کلیدهایست که کاربر دائماً با آنها سروکار دارد. در صورتی که محل این ابزارها و کلیدها درست تعیین نشود کاربر برای دسترسی به آنها نیاز به تغییر وضعیت فیزیکی بدن از حالت نرمال داشته و این پدیده در درازمدت برای کارهای تکرار شونده به علت نیروهای اضافه‌وارده به مفاصل و عضلات، آسیب‌های جدی به بدن وارد می‌کند. در عین حال خستگی عصبی-عضلانی ضمن توسعه مشکلات عضلانی اسکلتی، احتمال رخداد خطا در تصمیم‌گیری (Human errors) و انواع هماهنگی و کنترل عضلات را دربر دارد. بنابراین دسترسی به اجزای ماشین باید به خوبی لحاظ شود. در اینجا باید به این نکته نیز توجه داشت که علت بسیاری از حرکات اضافی گردن و یا حتی کل بدن به خاطر دیدن، شناسایی و یا پیدا کردن مکان یک کلید مورد نظر است. یعنی بخشی از حرکات به منظور یافتن و دیدن جزء مورد نظر و بخشی دیگر برای دسترسی فیزیکی به آن می‌باشد. در اینگونه موارد، مهم یافتن موقعیت مناسب، در میدان دید کاربر است. بنابراین نیاز به یک سیستم ردیاب حرکات چشم به خوبی روشن

میشود.

شده است. با توجه به رابطه نزدیک دید و تفکر، استفاده از حرکات چشم نزدیکترین گام فعلی به کنترل محیط از طریق ذهن است. چشم میتواند در کنار دستها، یک ابزار کنترلی دقیق برای کاربری ماشین ها در محیط های صنعتی باشد. همچنین می توان از حرکات چشم شخص برای فرمان دادن بسیار سریع در کاربرد های نظامی بهره جست، از آنجا که بر خلاف سایر اعضا بدن، فاصله عملکرد چشم و تصمیم ذهنی فرد تنها ۲۵۰ میلی ثانیه است. [۱۸]

۶) یکی از جدیدترین کاربردهای ردیابی چشم در سامانه های تولید واقعیت مجازی (Virtual Reality) است. تولید محتوا در این سامانه ها بر اساس نقطه توجه فرد صورت می گیرد. با افزایش فضاهای حقیقت مجازی و ورود تجاری آن به زندگی روزمره، ردیابی چشم باید به عنوان ابزاری کلیدی بتواند به شکلی قابل اعتماد، کاربردی و دقیق وارد زندگی روزمره کاربران شود.

## ۷- نتیجه گیری

ردیابی و تعقیب نگاه یک فرد از دیرباز مورد توجه محققان بوده. امروزه با پیشرفت های چشم گیر در زمینه های الکترونیک، کامپیوتر و فرایند های ساخت و تولید، می توان بیش از پیش به تحقق امکان دسترسی به ردیاب های دقیق تر و کاربردی تر کمک کرد. با پیشرفت تحقیقات در زمینه کاربرد هایی که این فناوری می تواند داشته باشد نیز، شاهد تحولات زیادی در زمینه طراحی بهینه فضاها و ابزار خواهیم بود. همچنین استفاده از این فن آوری علاوه بر راحت تر کردن بسیاری از فعالیت های انسان، می تواند دری به سوی شناخت عالم ذهن و ادراکات انسان به روی ما بگشاید.

## مراجع

- [۱] G. Daunys, "Report on New Approaches to Eye Tracking. Communication by Gaze Interaction (COGAIN)", IST-۲۰۰۳-۰۱۱۰۹۸: Deliverable ۵.۲, ۲۰۰۶.
- [۲] A. L. Yarbus, *Eye Movements and Vision*. New York, NY: Plenum Press. ۱۹۶۷.
- [۳] R. J. Krauzlis, "The control of voluntary eye movements: new perspectives", *The Neuroscientist*, ۱۱(۲):۱۲۴-۳۷, ۲۰۰۵ Apr
- [۴] S. Awwad, "Motility & Binocular Vision", [www.EyeWeb.org](http://www.EyeWeb.org)
- [۵] B. Cassin and S. Solomon, *Dictionary of Eye Terminology*. Gainesville, Florida, Triad Publishing Company, ۱۹۹۰
- [۶] MF. Land, "Motion and vision: why animals move their eyes". *J Comp Physiol A*, ۱۸۵:۳۴۱-۳۵۲, ۱۹۹۹

۲) در ایده پردازی برای طراحی لازم است بدانیم کدام دسته از المان ها و با چه ویژگی هایی (شکل، رنگ و ...) می توانند دید (و متعاقبا ذهن) کاربر را به خود جلب کنند. دانستن این مطلب در بسیاری موارد چون طراحی درست یک تابلوی هشدار دهنده در محیط برای جلب توجه بیشتر آن، طراحی مناسب کلید های اضطراری برای سهولت در یافتن آنها در مواقع خطرو ... بسیار کارساز است. در عین حال باید در محیط های کاری حساس که نیاز به تمرکز بیشتر شخص داریم، از بکار بردن این المان های جلب توجه کننده در اطراف او بپرهیزیم.

۳) در برخی کاربردها نیاز به بررسی رفتاری در مورد یک جامعه هدف خاص وجود دارد. به عنوان مثال برای طراحی راهنمای کاربرد یک دستگاه لازم است بدانیم فرد استفاده کننده به فراخور شرایط فرهنگی (راست نویس یا چپ نویس بودن زبان) کدام بخش راهنما را قبل از سایر بخشها خواهد دید. مثال دیگر در ترکیب با کاربرد قبل، برای طراحی علائم هشدار مطرح می شود. این علائم باید به رنگ و شکلی که از نظر آماری نظر افراد جامعه هدف را بیشتر به خود جلب می کند طراحی شده و در محدوده ای که در شعاع دید همه ی افراد آن جامعه است (ارتفاع و ...) نصب شوند.

۴) چیدمان درست اجزای بکار رفته در رابط میان یک دستگاه و کاربر (Interface)، نقش مهمی در میزان تمرکز کاربر و افزایش راندمان او دارد. امروزه برای آسان تر کردن کارها ابزارهای متعددی به محیط کار افزوده شده که اگر چیدمان تصادفی آنها منطبق بر نظم فکری کاربر نباشد، میتواند باعث گسسته شدن تمرکز، خستگی روحی و کاهش بازده کاربر شده و در اوج فشار کاری موجب دستپاچگی وی گردد. این مورد، بخصوص در طراحی محیط هایی از قبیل برجهای مراقبت، مراکز پلیس و اورژانس، اتاق های کنترل پروسه های پیشرفته و پیچیده چون پالایشگاه، صنایع پتروشیمی، نیروگاه های هسته ای و حتی کابین پرواز خلبان و ... اهمیت ویژه دارد.

۵) در بسیاری از موارد میتوان نیروهای وارده به شخص را در یک فرایند کاری، با تجهیزات مکانیکی کم کرد. امروزه برای معلولین، کنترل نشانگر رایانه با حرکت چشم ممکن

- [V] S. Martinez-Conde, S. L. Macknik & D. H. Hubel. The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience* 9(3):229-240 (2006)
- [A] N. F. Sheahan, D. Coakley, "Ocular microtremor measurement system: design and performance." *Med Biol Eng Comput* 31(7): 200-204, 1992.
- [9] Kandel, Schwartz and Jessel, *Principles of Neural Science*, McGraw Hill, 4th Edition, Chapter 39.4.1, 2000.
- [10] A. Kaufman, A. Bandopadhyay, B. Shaviv, "An eye tracking computer user interface", in: *Proc. of the Research Frontier in Virtual Reality Workshop*, IEEE Computer Society Press, pp. 28-32, 1993.
- [11] D. A. Robinson, "A method of measuring eye movements using a scleral search coil in a magnetic field", *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 10, 137-140, 1962.
- [12] C.H. Morimoto, Marcio R.M. Mimica, "Eye gaze tracking techniques for interactive applications", *Computer Vision and Image Understanding* 98, 4-24, 2000.
- [13] A. J. Glenstrup and T. Engell-Nielsen, *Eye Controlled Media: Present and Future state*, University of Copenhagen, 1990.
- [14] D.Kahneman, *Attention and Effort*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey,(1973).
- [15] R.J.K. Jacob and K.S. Karn, "Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises (Section Commentary)," in *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*, ed. by J. Hyona, R. Radach, and H. Deubel, pp. 273-300, Amsterdam, Elsevier Science (2007).
- [16] A. T. Duchowski, A breadth-first survey of eye tracking applications, *Behav. Res. Methods Instrum.Comput*, 1-13, 2002.
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Eye\\_tracking](http://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking)
- [18] S. M. Reder, "On-line monitoring of eye position signals in contingent and noncontingent paradigms", *Behaviour Research Methods & Instrumentation*, 2, 218-28, 1972