Analyzing Behavioral Markers of Autistic Children Using Eye Tracking Data

Seyedeh Negin Seyed Fakhari, Foad Ghaderi*

Human Computer Interaction Lab, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Article Info:

Received: **20 Mar 2019** ***Revised:*** **14 Jul 2019** ***Accepted:*** **22 Jul 2019**

ABSTRACT

Introduction: Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental disorder that occurs in the early years of life and is characterized by social impairment, verbal and non-verbal communication difficulties as well as stereotypical behaviors. Rehabilitating autistic children at the early stages of growth, in which their brain is highly flexible, yields to enhanced treatment process and provides the chance of utilizing their talents. In other words, late detection and treatment will leave these children's behavior unchanged until adulthood. Considering the role of eyes, as one of the most valuable sources of information in social interactions and the different patterns of eye behaviors in autistic children in response to social stimuli, the non-invasive eye tracking technique is an appropriate approach to early diagnosis of this disorder. This way it is possible to investigate how visual stimuli are processed in autistic people at different ages. ***Conclusion:*** This study is a review of the previous studies in the field of eye-tracking data analytics conducted with the aim of identifying the autistic and normal children eye movement patterns in response to social stimuli. The results of published investigations confirm that eye tracking is an effective approach for identifying the different patterns of eye movements in autistic children compared to normal subjects. These differences can be assumed as the basis for developing intelligent ASD screening systems.

Key words:

1. Autism Spectrum Disorder
2. Early Diagnosis
3. Eye Movements
4. Intelligence

Corresponding Author: Foad Ghaderi

E-mail: *fghaderi@modares.ac.ir*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]

[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]

تحلیل نشانگرهای رفتاری کودکان مبتلا به اتیسم با بهره‌گیری از داده‌های ردیابی چشم

سیده نگین سید فخاری، فؤاد قادری*

آزمایشگاه تعامل انسان و کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۹ اسفند ۱۳۹۷ **اصلاحیه:** ۲۳ تیر ۱۳۹۸ **پذیرش:** ۳۱ تیر ۱۳۹۸

چـــــکیده

مقدمه: اختلال طیف اتیسم یک اختلال تکامل ذهنی است که در سال‌های اولیهٔ زندگی رخ می‌دهد و با اختلالات اجتماعی، مشکلات ارتباطی کلامی و غیرکلامی و همچنین بروز رفتارهای کلیشه‌ای مشخص می‌شود. توانبخشی کودکان اتیستیک در مراحل آغازین رشد که انعطاف‌پذیری مغز بالاست؛ منجر به بهبود روند درمان شده و امکان بهره‌برداری از استعدادهای آن‌ها را فراهم می‌آورد. به عبارت دیگر تشخیص و درمان دیرهنگام، عملکرد غیرقابل تغییر این کودکان را تا بزرگسالی در پی خواهد داشت. با توجه به نقش چشم‌ها به‌عنوان یکی از ارزشمندترین منابع اطلاعاتی در تعاملات اجتماعی و الگوی متفاوت رفتارهای چشم در کودکان اتیستیک در پاسخ به محرک‌های اجتماعی، روش غیرتهاجمی ردیابی چشم رویکردی مناسب در تشخیص زودهنگام این اختلال به شمار می‌رود. بدین ترتیب می‌توان چگونگی پردازش محرک‌های بصری در افراد مبتلا به اختلال طیف اتیسم در سنین مختلف را مورد بررسی قرار داد. ***نتیجه‌گیری:*** پژوهش حاضر مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینهٔ تحلیل داده‌های ردیابی چشم به‌منظور شناسایی الگوی حرکت چشم در پاسخ به محرک‌های اجتماعی در کودکان اتیستیک و عادی است. نتایج پژوهش‌های انجام شده تایید می‌کنند که ردیابی چشم رویکردی مؤثر در تشخیص الگوهای رفتاری متفاوت چشم در کودکان اتیستیک در مقایسه با کودکان عادی می‌باشد. این تفاوت‌ها می‌توانند مبنایی برای ایجاد سیستم‌های هوشمند غربالگری کودکان مبتلا به اتیسم باشند.

کلید واژه‌ها:

۱. اختلال طیف اتیسم
۲. تشخیص زودهنگام
۳. حرکت‌های چشم
۴. هوشمند

* **نویسنده مسئول:** فؤاد قادری

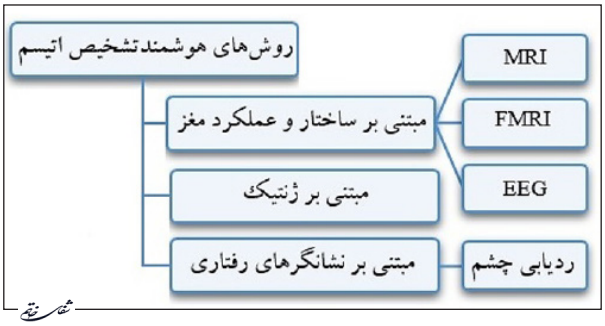
آدرس الکترونیکی: *fghaderi@modares.ac.ir*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]

[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]

مقدمه

اتیسم یک اختلال عصبی تحولی[1] است که کودکان مبتلا به آن مشکلات عمده‌ای در تعاملات اجتماعی، ارتباطی و زبانی دارند (۱). این افراد در برقراری و نگاه داشتن تماس چشمی جهت پردازش اطلاعات چهره‌ای و تنظیم رفتار اجتماعی خود ناتوان می‌باشند (۲). به نظر می‌رسد علت این ناهنجاری‌ها از عواملی رشدی ناشی می‌شود که بر همه یا بسیاری از سیستم‌های عملکردی مغز اثر گذاشته و روند رشد و تحول مغز را دچار تغییر می‌نمایند (۳). نقطهٔ مقابل این ناهنجاری‌ها توانایی‌های فوق‌العاده‌ای است که برخی از این کودکان در زمینه‌ای خاص همچون محاسبات ریاضی پیچیده و یا نواختن موسیقی دارا می‌باشند (۴). با توجه به خصوصیت ذکر شده، تشخیص و مداخلهٔ زودهنگام نقش بسزایی نه تنها در روند درمان این کودکان ایفاء می‌کند بلکه می‌تواند آینده‌ای روشن برای آنان رقم زند (۵). اما مشکل اینجاست که علی‌رغم پدیدار شدن زود هنگام علائم اولیه، اغلب تشخیص زودهنگام این اختلال به علت ناآگاهی خانواده‌ها و نیز محدودیت در ابزارهای سنجش قابل دسترس به کندی صورت می‌پذیرد. بنابراین بسیاری از کودکان مبتلا به اتیسم فرصت مداخلهٔ زود هنگام را که ممکن است آسیب‌های شدید و پایدار آتی را تعدیل کند، از دست می‌دهند (۶). از این رو استفاده از روش‌های هوشمند در کنار روش‌های بالینی به افزایش سرعت تشخیص و تصمیم‌گیری با ثبات مبتنی بر قضاوت بالینی کمک می‌کند. روش‌های هوشمند تشخیص اتیسم را می‌توان مطابق تصویر ۱ در سه گروه کلی دسته‌بندی نمود. با توجه به آنکه اتیسم اختلالی در رشد مغز است بررسی ساختار و عملکرد مغز با استفاده از تصویربرداری و نوار مغزی می‌تواند رویکردی مناسب در تشخیص این بیماری محسوب شود (۷، ۸). اما چالش پیش روی این روش‌ها، صرف نظر از هزینه، این است که در آن‌ها هیچ توجه‌ای به رفتار فرد نمی‌شود و این در حالیست که اتیسم نمود قابل توجهی در رفتار افراد دارد. از طرف دیگر استفاده از این روش‌ها ممکن است منجر به آزار کودکان شوند به‌عنوان مثال رد شدن از تونل دستگاه تصویربرداری یا استفاده از کلاه‌های الکترودار در بررسی سیگنال‌های مغزی برای کودکانی با سنین کم چندان ساده نمی‌باشد. دستهٔ دوم به بررسی ژن‌های حامل اختلال اتیسم می‌پردازند. در مطالعات صورت گرفته در این حوزه مقادیر بیان ژن‌های شخص در طی بازه‌های زمانی مختلف (به‌عنوان مثال از ۸ هفتگی تا ۴۰ سالگی) از نواحی مختلف ساختار مغزی به دست آمده و در نهایت ابتلا یا عدم ابتلا به اتیسم در فرد تشخیص داده می‌شود (۱۰، ۹). روند تشخیص این روش طولانی می‌باشد و فرصت مداخلهٔ زودهنگام از دست می‌رود. دستهٔ سوم استفاده از ردیابی حرکت چشم جهت بررسی نشانگرهای[2] رفتاری می‌باشد. تکنولوژی ردیابی و ثبت حرکات چشم به دلیل مزایایی همچون قیمت ارزان، دسترس‌پذیری و خصوصاً غیرتهاجمی[3] بودن به ابزاری مناسب جهت بررسی توجه دیداری اجتماعی و تحلیل الگوهای رفتاری افراد اتیستیک تبدیل شده است (۱۱). این ابزار به محقق اجازه می‌دهد که با دقت و درستی بالا مکان دقیق نگاه و طول مدت خیرگی آن را برای سنین مختلف ارزیابی کند (۱). شاخص‌های خطر و علایم اتیسم به دست آمده توسط معیار خیرگی چشم نشان می‌دهند که روابط دو جانبهٔ قابل توجه‌ای میان معیارهای مبتنی بر ردیابی چشم و تشخیص اتیسم وجود دارد به گونه‌ای که این معیارها می‌توانند در تصمیم‌گیری با ثبات قضاوت بالینی در تشخیص اتیسم به صورت مؤثر مورد استفاده قرار گیرند (۱۲).



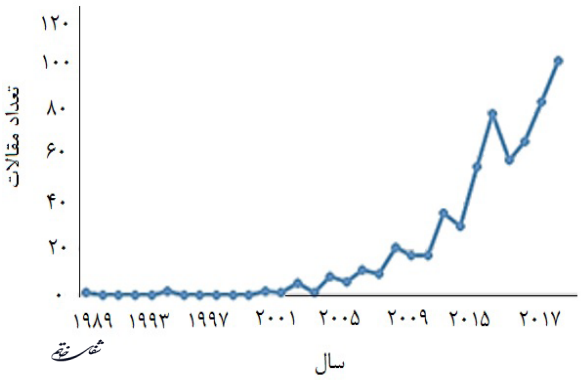
تصویر ۱- روش‌های هوشمند تشخیص اتیسم.

شیوع اتیسم و ضرورت تشخیص زودهنگام آن از یکسو و کارایی رویکرد ردیابی چشم از سوی دیگر توجه بسیاری از محققین را به این حوزه جلب کرده است. نمودار ۱ تعداد مقالات منتشر شده طی سال‌های اخیر در حوزهٔ تشخیص اتیسم با استفاده از روش ردیابی چشم را نشان می‌دهد که بیانگر توجه روزافزون محققین به این حوزه است (۱۳). هدف پژوهش حاضر این است که پژوهش‌هایی که به تفاوت الگوی نگاه به محرک‌های بصری در کودکان اتیستیک و کودکان عادی پرداخته‌اند را به صورت سیستماتیک مورد بررسی قرار دهد تا از این رهگذر بتوان مشخصات کلیدی، نقاط ضعف و قدرت رویکردهای مختلف را برآورد کرد. این مقایسه پیش نیازی برای طراحی و توسعهٔ ابزارهای هوشمند غربالگری کودکان اتیستیک است. پژوهش‌های پیشین از جنبه‌های سال انتشار، نوع مطالعه، محدودهٔ سنی و تعداد شرکت‌کنندگان، رویکرد تحلیل، وظیفه[4] و محرک[5] تعریف شده، روش یادگیری ماشین و نتایج مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

ادامهٔ پژوهش حاضر به صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش بعدی به معرفی روش ردیابی چشم و

[1] Neurodevelopmental
[2] Biomarker
[3] Noninvasive
[4] Task
[5] Stimuli

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]
[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]



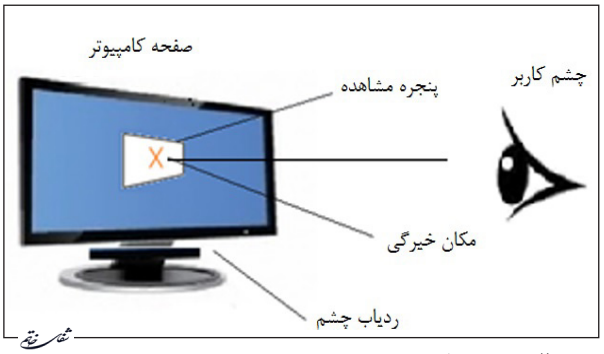
نمودار ۱- رشد مطالعات مربوط به اتیسم با استفاده از ردیابی چشم با جستجوی واژگان کلیدی "Eye Tracking", "Autism" (۱۳).

روش‌های کمی سازی آن پرداخته می‌شود. در بخش سوم پژوهش‌هایی که پیشتر در زمینهٔ تشخیص اتیسم به کمک روش ردیابی حرکت چشم صورت گرفته بررسی می‌شوند. در نهایت در بخش چهارم به نتیجه‌گیری و بیان چالش‌های موجود پرداخته خواهد شد.

تکنولوژی ردیابی چشم

میزان توجه اجتماعی و ارتباطات غیرکلامی نشانگرهایی کارآمد و زودرس در آزمایشات بالینی محسوب می‌شوند (۱۴). از آنجا که چشم افراد به سمت ویژگی‌های برجستهٔ بصری محیط پیرامون جذب می‌شود، یک روش اندازه‌گیری تعاملات اجتماعی استفاده از روش غیرنفوذی ردیابی چشم است. شایان ذکر است که استفاده از روش ردیابی چشم به‌منظور برقراری ارتباط بین افراد ناتوان حرکتی و کامپیوتر و همینطور تحلیل نوع ارتباط بیش از ۳ دهه است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. تلاش‌ها برای اندازه‌گیری حرکات چشم به حدود صد سال پیش باز می‌گردد اما برخی از روش‌های اولیهٔ اندازه‌گیری حرکات چشم با وجود ابتکاری بودن، کاربر پسند نبودند. در این روش‌ها نه تنها شیوهٔ ردیابی چشمی نامناسب بود بلکه تحلیل داده‌های به دست آمده نیز شامل فرایند پیچیده‌ای بود و اغلب مستلزم تحلیل فریم به فریم فیلم‌ها یا ویدئوهای ضبط شده از حرکات چشم بود. پیشرفت تکنولوژی‌های ویدئویی و رایانه‌ای در دههٔ گذشته جهش قابل توجهی را در تحقیقات حرکت چشمی به وجود آورد. به طور کلی سه روش اندازه‌گیری به روش الکتریکی، استفاده از لنزهای تماسی و اندازه‌گیری به کمک تصویر برای اندازه‌گیری حرکات چشم به کار برده می‌شود. دو روش اول دقت بالایی دارند؛ اما کاملاً تهاجمی‌اند و استفاده از آن‌ها تقریباً محدود به فعالیت‌های آزمایشگاهی است. اساس روش سوم استفاده از تصاویر برداشته شده از چشم و تعیین موقعیت چشم با پردازش این تصاویر است. با استفاده از تصویر برداشته شده می‌توان برخی مشخصه‌های چشم را اندازه‌گیری کرد و سپس با بررسی تغییرات این مشخصه‌ها مکان چشم و نقطهٔ دید شخص را به دست آورد. یکی از مشخصه‌های اصلی برای ردیابی، موقعیت مردمک چشم است. بیشتر ردیابی‌های چشمی از نور مادون قرمز یا نزدیک به مادون قرمز برای افزایش کنتراست بین مردمک و عنبیه به‌منظور تسهیل ردیابی استفاده می‌نمایند (۱۵). نکتهٔ مهم در رابطه با این روش این است که وضعیت مردمک تا حدی به حرکات سر حساس است. یک راه‌حل برای رفع این مشکل به لطف تکنولوژی‌های پیشرفتهٔ ویدئویی، ردیابی مرکز مردمک و محل بازتاب قرنیه است. وضعیت نسبی این دو دلالت بر موقعیت چشم با توجه به دوربین دارد. این روش نسبت به حرکات بدن یا سر حساس نیست. استفاده از ترکیب مرکز مردمک -بازتاب قرنیه و سایر روش‌ها به طور چشمگیری موجب کاهش نیاز به تجهیزاتی که جهت ثابت نگه داشتن سر استفاده می‌شوند گردیده است (۱۶).

در این نوع سیستم‌های ردیابی حرکت چشم، همانطور که در تصویر ۲ مشاهده می‌شود؛ کاربر در مقابل یک صفحهٔ نمایش قرار می‌گیرد و یک (یا چند) دوربین ویدئویی از چشمان وی تصویربرداری می‌کند. دنبالهٔ تصاویر به دست آمده، برای تخمین مسیر نگاه کاربر پردازش می‌شود. برای افزایش وضوح مردمک چشم در تصاویر ثبت شده نور مادون قرمز به چهرهٔ فرد تابانده می‌شود.



تصویر ۲- سیستم ردیابی چشم.

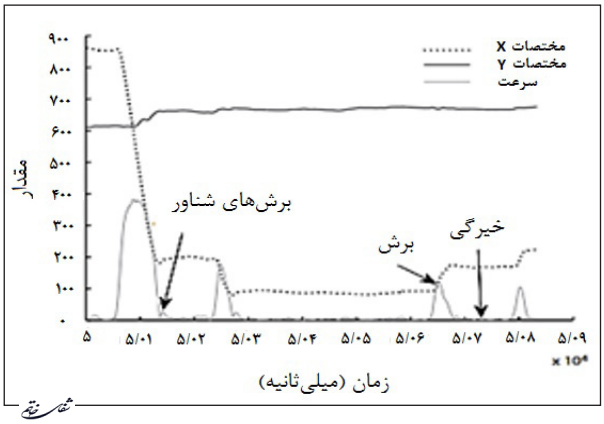
انواع حرکات چشم

در واقع حرکات چشم را می‌توان به دو دستهٔ اصلی خیرگی[6] و پرش[7] تقسیم‌بندی کرد (۱۷). هنگامی که نگاه فرد برای مدتی بیش از حداقل زمان لازم برای خیرگی (۸۰۰-۱۰۰ میلی‌ثانیه)، بر روی ناحیهٔ کوچکی باشد، خیرگی اتفاق می‌افتد.کسب و پردازش اطلاعات در طی خیرگی‌ها به وقوع می‌پیوندند. چرخش‌های سریع و پرش گونهٔ چشم که بین دو خیرگی متوالی اتفاق می‌افتد و باعث می‌شود محل مورد نظر در میدان دید چشم قرار گیرد، پرش نامیده می‌شود. در پایان بسیاری از خیرگی‌ها، چشم‌ها بلافاصله به حالت پرش در نمی‌آیند بلکه برای مدتی حرکات پرشی کوچکی

[6] Fixation
[7] Saccade

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]
[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]

انجام می‌دهند و پس از آن وارد حالت پرش می‌شوند. این حرکات کوچک را پرش‌های شناور یا سراریزی[8] می‌نامند. در تصویر ۳ انواع حالت‌های حرکتی چشم قابل مشاهده است (۱۸).



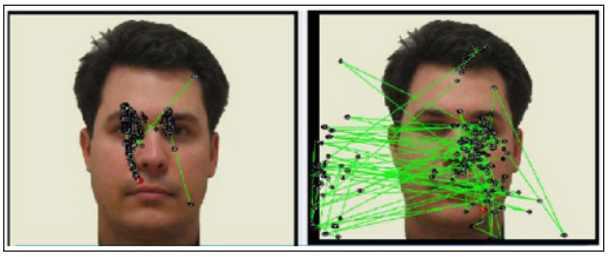
تصویر ۳- انواع حالت‌های حرکتی چشم (۱۸).

اندازه‌گیری حرکات چشم

حرکات چشم در سه دستهٔ مقیاس‌های فضایی، زمانی و شمارشی قابل اندازه‌گیری هستند (۱۷). مقیاس زمانی به اندازه‌گیری حرکت چشم در بعد زمان اشاره دارد. به‌عنوان مثال مدت زمانی که صرف مشاهدهٔ نقاط خاصی از یک تصویر می‌شود. از رایج‌ترین مقیاس‌های این گروه می‌توان به مجموع زمان خیرگی‌ها و مدت زمان خیره شدن اشاره نمود (۱۹). مقیاس‌هایی چون موقعیت خیرگی، توالی خیرگی، طول مدت پرش و الگوهای اسکن مسیر به این گروه تعلق دارند (۲۰). سرانجام مقیاس‌های شمارشی به اندازه‌گیری حرکت چشم بر مبنای فراوانی یا تعداد دفعات اشاره دارند. از پرکاربردترین مقیاس‌های این گروه می‌توان به تعداد دفعات خیرگی و احتمال وقوع خیرگی اشاره نمود. مقیاس‌های شمارشی معمولاً برای شناسایی اهمیت موارد دیداری مورد استفاده قرار می‌گیرند. توجه به این نکته حائز اهمیت است که در حوزه‌های موضوعی مختلف ممکن است بر مقیاس‌های خاصی از حرکات چشم تأکید شود. برای مثال در مطالعات مربوط به خواندن، بیشتر بر مقیاس‌های زمانی تأکید می‌شود در حالی که در تحقیقات مربوط به ادراک تصویر بیشتر بر مقیاس‌های فضایی تأکید می‌شود. فراوانی خیرگی‌های بیننده بر روی یک عنصر یا ناحیه‌ای خاص از یک نمایش بصری، منعکس‌کنندهٔ اهمیت آن ناحیه یا عنصر است و مدت زمان خیرگی بر روی عناصر خاص از یک نمایش دیداری، می‌تواند برای شناسایی ناحیهٔ مورد علاقهٔ بیننده مورد استفاده قرار گیرد. البته زمان خیرگی طولانی‌تر بر روی یک نقطه، ممکن است به واسطهٔ مواجه فراگیر با دشوارترین تکالیف یادگیری باشد. مسیرهای اسکن یا توالی خیرگی‌ها که به نوعی نشان‌دهندهٔ تغییرات در نواحی علاقه در طی زمان به شمار می‌رود؛ می‌تواند برای تعیین تصویرسازی ذهنی فرد از مشاهدهٔ نمایش‌های بصری مورد استفاده قرار گیرد (۲۱).

روش‌های غربالگری کودکان اتیستیک با استفاده از ردیابی حرکات چشم

چشم یکی از ارزشمندترین منبع اطلاعاتی در تعاملات اجتماعی به شمار می‌رود. در حقیقت ارتباط چشمی یکی از شالوده‌های اولیه برای تحول مهارت‌های اجتماعی است که در کودکان اتیستیک به طور معنی‌داری دچار نارسایی می‌باشد (۲۲). به‌عنوان مثال همانطور که در تصویر ۴ مشاهده می‌شود کودکان اتیستیک نسبت به افراد عادی کمتر به ناحیهٔ چشم‌ها خیره می‌شوند و معمولاً بین نگاه خود پرش‌های مداومی به ناحیهٔ بیرون چهره دارند (۲۳).



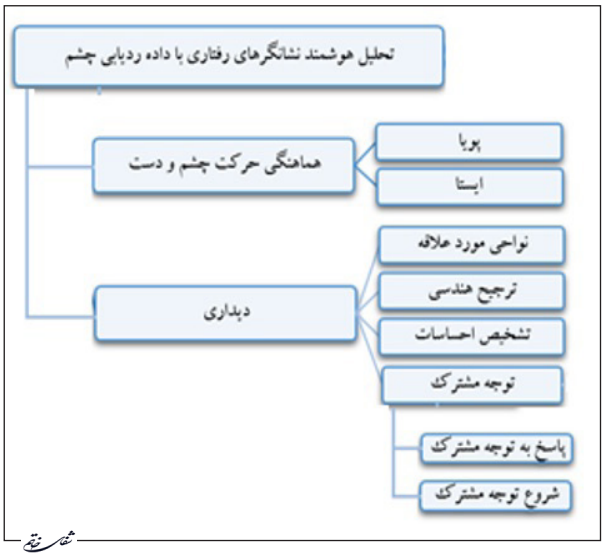
تصویر ۴- اختلاف میان خط سیر نگاه فرد عادی (سمت چپ) در مقابل فرد اتیستیک (سمت راست) -(۲۳).

از این رو تحلیل نگاه به کمک روش ردیابی چشم، روشی زودهنگام در غربالگری این کودکان می‌باشد. روش ردیابی چشم که امروزه به علت غیرتهاجمی بودن روشی پرکاربرد در حوزهٔ تشخیص و کمک به افراد ناتوان حرکتی محسوب می‌شود، اطلاعات مربوط به عملکرد مغز را از طریق مطالعهٔ ناهنجاری‌های حرکتی چشم فراهم می‌کند. به این ترتیب می‌توان زمان و مکان خیرگی چشم را در هنگام نگاه کردن به محرک ارزیابی کرد و دانش لازم در رابطه با خصوصیات اجتماعی افراد مبتلا به اتیسم را به دست آورد. تحلیل نشانگرهای رفتاری کودکان اتیستیک را بر اساس حرکات چشم و نوع محرک و وظیفهٔ تعریف شده می‌توان به دو دستهٔ دیداری و دیداری -حرکتی تقسیم‌بندی نمود (تصویر ۵).

منظور از واکنش‌های حرکتی هماهنگی حرکات دست و چشم در دو حالت انجام وظایف ایستا و پویا است. واکنش‌های دیداری که به بررسی واکنش فرد نسبت به یک محرک دیداری می‌پردازند به چهار حوزهٔ بررسی ترجیح هندسی[9]، نواحی مورد علاقه (AOI)[10]، تشخیص احساسات و توجه مشترک[11] تقسیم می‌شوند.

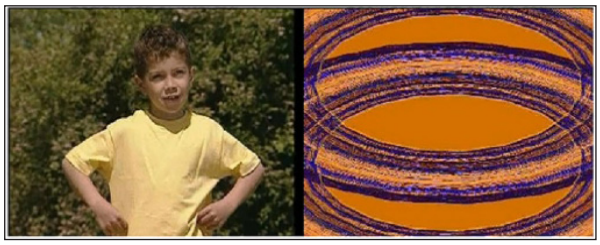
[8] Glissade
[9] Geometric preference
[10] Areas-of-interest
[11] Joint attention

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]
[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]



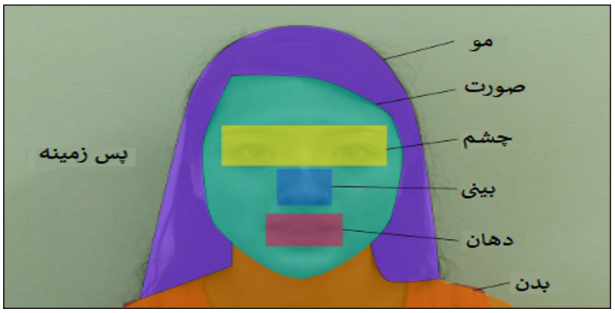
تصویر ۵- دسته‌بندی تحلیل هوشمند ارتباطات غیرکلامی با استفاده از ردیابی چشم.

آزمون ترجیح هندسی یک زیر نوع پایدار از ویژگی‌های اتیسم با مضمون کاهش توجه اجتماعی و افزایش توجه به تکرار هندسی را شناسایی می‌کند. نمونه‌ای از تصاویر مورد استفاده در این آزمون در تصویر ۶ نشان داده شده است. انتظار می‌رود که با افزایش پیچیدگی تصاویر مربوط به محرک اجتماعی نتایج آزمون ترجیح هندسی تشدید شود، به این معنا که کودکان اتیستیک در تصاویر اجتماعی پیچیده‌تر توجه بیشتری به تصویر هندسی خواهند داشت. از این رو تمامی کودکان با زمان خیرگی بالاتر از یک مقدار آستانه بر روی تصاویر هندسی به‌عنوان گروه اتیستیک پیش‌بینی می‌شوند. مطالعهٔ مروری که در سال ۲۰۱۸ صورت گرفت حاکی از آن است که افزایش پیچیدگی محتوای محرک‌های اجتماعی با نمایش بیش از یک شخص در تصویر، عاملی است که به بهترین نحو ممکن تفاوت نگرش کودکان عادی و اتیستیک را آشکار می‌سازد (۲۴). نواحی مورد علاقهٔ چهره معمولاً به ناحیهٔ دهان، بینی، چشم‌ها اطلاق می‌گردد. نمونه‌ای از این نواحی در تصویر ۷ نشان داده شده است (۲۵).



تصویر ۶- سمت راست نمونه‌ای از تصویر هندسی و سمت چپ نمونه‌ای از تصویر اجتماعی (۲۴).

مطالعات پیشین ثابت کرده‌اند که احساسات مختلف هر یک بر روی نواحی خاص از چهره ظاهر می‌شوند. به‌عنوان مثال احساسات منفی بیشتر بر روی ناحیهٔ بالای صورت ظاهر می‌شوند در حالی که احساسات



تصویر ۷- نواحی مورد علاقهٔ چهره (۲۵).

مثبت بر روی بخش پایینی صورت تأثیر می‌گذارد. بنابراین اگر فردی نتواند اشارات مرتبط را دریافت کند و یا آنچه که دیده است را در کنار هم درک کند تحلیل نادرستی از محیط خواهد داشت و به تبع آن، احتمال نشان دادن واکنش درست کاهش خواهد یافت. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که توجه بصری بهتر به بخش خاصی از صورت ممکن است به نتایج بهتری در تشخیص احساسات منجر شود (۲۶). توجه مشترک به لحاظ اجتماعی به توانایی هماهنگی بصری و به اشتراک گذاشتن نقطهٔ نگاه با دیگران تفسیر می‌شود (۲۷). در پاسخ به توجه مشترک انتظار داریم مخاطب به سمت نگاه ما توجه کند و در آغاز توجه مشترک به دنبال شروع این هماهنگی دید از سمت مخاطب هستیم. پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه دو هدف کلی تحلیل الگوی رفتاری و تشخیص بیماری با استفاده از الگوی به دست آمده را دنبال می‌کنند. جزئیات مربوط به این پژوهش‌ها در قالب جداول ۱ و ۲ خلاصه شده است.

نتایج این مطالعات نشان می‌دهند که:

۱- کودکان اتیستیک تمایل کمتری به نگاه کردن به نواحی چشم‌ها دارند و نگاه کردن به دهان را ترجیح می‌دهند. از سوی دیگر در مواجه با فردی که در حال صحبت است توجه خود را به نواحی بیرون چهره همچون گوش‌ها معطوف می‌کنند (۲۹، ۲۸).

۲- کودکان اتیستیک از نگاه کردن به صحنه‌هایی که نشان‌دهندهٔ روابط اجتماعی همچون بازی کردن دو دوست می‌باشند، به شدت گریزان هستند و اغلب تمایل به نگاه کردن به تصاویر هندسی پیچیده دارند (۳۱، ۳۰). هر چقدر پیچیدگی تصاویر اجتماعی با افزایش چهره‌های موجود در تصویر افزایش می‌یابد، ناتوانی آنان نیز بیشتر به چشم می‌آید.

۳- این کودکان از هماهنگی ضعیفی میان حرکات دست و چشم برخوردار هستند به‌عنوان مثال در فعالیت‌هایی همچون کشیدن ماوس به یک نقطهٔ خاص مسیر نگاه آن‌ها متناسب با حرکت دست نمی‌باشد (۲۸).

۴- آن‌ها با چهره‌های نژادهای دیگر بهتر از نژاد

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]
[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]

خودشان ارتباط برقرار می‌کنند به گونه‌ای که می‌توان گفت ارتباط چشمی آن‌ها با سایر نژادها تقریباً بی‌نقص است (۳۲، ۳۳).

۵- این کودکان در تشخیص احساسات مثبت همچون شادی عملکرد بهتری دارند چرا که این کودکان توجه بیشتری به ناحیهٔ دهان دارند (۲۶).

جدول ۱- مشخصات کلی مطالعات صورت گرفته.

منبع	سال	نوع مطالعه	رویکرد تحلیل	تعداد		وظیفه	محرک	رویکرد یادگیری
				ASD	TD			
(۳۸)	۲۰۱۸	تحلیل	هماهنگی چشم و حرکت دست نواحی مورد علاقه چهره	۸	۸	۱. انتخاب حالت تصویر هدف از میان تصاویر گرافیکی نمایش داده شده ۲. چرخش تصویر به جهات مختلف	تصویر	۱. تشخیص چهره ۲. قطعه‌بندی تصویر ۳. استخراج ویژگی با فیلتر گابور ۴. دسته‌بندی SVM
(۲۹)	۲۰۱۳	تحلیل	نواحی مورد علاقه چهره گفتار			۱. تماشای تصویری از صورت یک شخص ۲. تماشای ویدئو پویا از شخصی خندان ۳. تماشای ویدئو از شخصی خندان در حال خواندن شعر	تصویر ویدئو صدا	-
(۳۲)	۲۰۱۶	تحلیل	نواحی مورد علاقه چهره	۳۹	۵۸	به خاطر سپاری ۳ چهرهٔ چینی و ۳ چهرهٔ قفقازی و تشخیص آن‌ها از میان ۱۸ چهرهٔ جدید	تصویر	-
(۳۵)	۲۰۱۸	تحلیل تشخیص	نواحی مورد علاقه چهره گفتار	۳۷	۳۷	تماشای یک ویدئو ۱۰ ثانیه‌ای شخصی در حال صحبت	ویدئو صدا	اعمال SVM روی مدت زمان خیرگی نواحی مورد علاقه
(۳۳)	۲۰۱۶	تحلیل تشخیص	نواحی مورد علاقه چهره	۳۹	۵۸	به خاطر سپاری ۳ چهرهٔ چینی و ۳ چهرهٔ قفقازی و تشخیص آن‌ها از میان ۱۸ چهرهٔ جدید	تصویر	۱. خوشه‌بندی K-means ۲. استخراج ویژگی هیستوگرام با استفاده از مختصات خیرگی ۳. دسته‌بندی SVM
(۱)	۲۰۱۸	تحلیل	نواحی مورد علاقه چهره ترجیح هندسی	۳۴	۳۱	۱. تصویر موز، فوتبال، سبزیجات ۲. تصویر چهرهٔ کودکان در حال بازی با در نظر گرفتن دو ناحیهٔ مورد علاقه دهان و چشم‌ها	تصویر	-
(۳۰)	۲۰۱۷	تحلیل و تشخیص	ترجیح هندسی	۸	۲۳	پخش ۵ ویدئو یک دقیقه‌ای شامل دو صحنه: سمت راست آن یک صحنهٔ انتزاعی، سمت چپ آن یک صحنهٔ اجتماعی	ویدئو	۱. جمع‌آوری داده ۲. تقویت تصویر ۳. پردازش ۴. استخراج ویژگی ۵. تشخیص خیرگی
(۳۱)	۲۰۱۶	تحلیل	ترجیح هندسی	۸	۲۴	۵ ویدئو یک دقیقه‌ای مشتمل بر دو صحنه در یک صفحه: سمت چپ یک صحنهٔ اجتماعی از بازی کودکان سمت راست یک صحنهٔ انتزاعی از شی متحرک رنگارنگ	ویدئو	۱. پیش پردازش ۲. پردازش ۳. استخراج ویژگی
(۳۴)	۲۰۱۳	تحلیل	هماهنگی حرکت چشم و دست به صورت ایستا	۱۴	۱۴	۱. نگاه کردن: شناسایی رنگ و سایر ویژگی‌های هدف ۲. فشردن: تعیین موقعیت چپ یا راست هدف با فشردن دکمهٔ چپ یا راست یک جعبه دکمه به ترتیب توسط انگشت چپ یا راست ۳. لمس کردن: حرکت دادن هدف با استفاده از یک چوب ۴۰ سانتی‌متری در هر دست		-
(۲۶)	۲۰۱۰	تحلیل	تشخیص احساسات	۳۳	۴۵	فاز اول: نمایش ۳ ویدئو از ۶ احساس اصلی با هدف آموزش فاز دوم: نمایش یک ویدئو برای هر حالت با هدف تمرین فاز سوم: نمایش ۴ ویدئو از ۶ احساس اصلی با هدف آزمایش	ویدئو	-
(۳۵)	۲۰۱۷	تحلیل و درمان	توجه مشترک	۱۱	۰	نمایش سه ویدیو ۵ ثانیه‌ای از یک شخص با دو اسباب‌بازی در دو طرف وی برای بررسی موارد زیر: شروع توجه مشترک: شخصی سرش را بالا می‌گیرد، به دوربین لبخند می‌زند و سپس به سمت یکی از اسباب‌بازی‌ها جهت جلب توجه کودک نگاه می‌کند. پاسخ به توجه مشترک: شخصی سرش را بالا می‌گیرد به دوربین لبخند می‌زند و سپس با حالت خنثی به دوربین نگاه می‌کند و در همین حین یکی از اسباب‌بازی‌ها حرکت می‌کند. حالت کنترل: شخصی سرش را بالا می‌گیرد به دوربین لبخند می‌زند.	ویدئو	تست آماری ANOVA و t
(۲۷)	۲۰۱۸	تشخیص	توجه مشترک	۲۴	۲۸	تماشای ۱۲ ویدئو ۳۰ ثانیه‌ای	ویدئو	۱. آنتروپی ۲. تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۳. روش‌های دسته‌بندی SVM, logistic,DNN, Naïve Bayes
(۳۶)	۲۰۱۱	تشخیص	نواحی چهره	۶	۲۶	ضبط یک ویدئو ۳ دقیقه‌ای از تماشای نوزاد به صورت مادرش	ویدئو	مدل مخفی مارکوف و مدل مارکوف با مرتبهٔ متغیر

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]

[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]

جدول ۲- نوآوری و نتایج مطالعات صورت گرفته.

منبع	نوآوری	نتایج
(۲۸)	۱. شناسایی نشانگرهای رفتاری نامحسوس و پیچیده‌تر با مطالعهٔ همزمان پاسخ‌های غیرارادی چهره، چشم و حرکت دست ۲. استفاده از سیستم کدگذاری واکنش چهره	۱. هماهنگی ضعیف میان چشم و حرکت دست در کودکان اتیستیک ۲. نگاه کمتر به ناحیهٔ چشم‌ها و بیشتر به ناحیهٔ دهان در کودکان اتیستیک ۳. بروز حالت غیرارادی بیشتر خصوصاً حالت لبخند در کودکان اتیستیک
(۲۹)	بررسی کارایی روش ردیابی چشم در نوزادان ۶ ماهه	کوتاه بودن مدت زمان نگاه به تصویر در کودکان اتیستیک تمایل به نگاه کردن به اعضای بدنی چهره نظیر گوش‌ها در زمان مشاهدهٔ ویدئو شعر خواندن
(۳۲)	بررسی الگوی تحلیل کودکان اتیستیک نسبت به تصاویر مربوط به چهرهٔ نژادهای متفاوت از نژاد خود	۱. توجه بیشتر افراد ASD به ناحیهٔ چشم و توجه کمتر آن‌ها به ناحیهٔ دهان و بینی نژادهای دیگر ۲. توانایی قابل قبول کودکان اتیستیک در پردازش چهرهٔ نژادهای متفاوت از نژاد خود
(۲۵)	ضرورت استفاده از یک مدل کوتاه و بهینه جهت بهبود سطح همکاری کودکان کم سن اتیستیک در فرایند آزمون و تشخیص	۱. کاهش مدت زمان خیرگی به نواحی مورد علاقه ۲. تفاوت فاحش مدت زمان خیرگی نواحی دهان و بدن بین کودکان عادی و اتیستیک ۳. تشخیص بهتر کودکان عادی و اتیستیک با نمایش چهرهٔ افراد در حال صحبت ۴. تشخیص کودکان عادی از اتیستیک با نرخ دقت و حساسیت بیش از ۸۵ درصد
(۲۳)	بررسی کارآمد بودن الگوهای حاصل از داده‌های ردیابی چشم، در دسته‌بندی و تشخیص کودکان عادی و اتیستیک	۱. توجه بیشتر افراد ASD به ناحیهٔ چشم راست و بالای دهان و توجه افراد TD به چشم چپ ۲. دسته‌بندی افراد ASD و TD با دقت ۸۸/۵۱ درصد ۳. تمایل بیشتر کودکان ASD به نگاه کردن به چهره‌های نژادهای دیگر
(۱)	استفاده از معیار مدت زمان اولین خیرگی	۱. وجود یک دقیقه تأخیر در زمان اولین خیرگی کودکان ASD نسبت به کودکان عادی در مشاهدهٔ تصویر کودکان ۲. وجود یک دقیقه تأخیر کودکان عادی نسبت به کودکان ASD در زمان اولین خیرگی در مشاهدهٔ تصویر سبزیجات ۳. پایین بودن میانگین کل خیرگی در کودکان اتیستیک نسبت به کودکان عادی ۴. ترجیح کودکان اتیسم به نگاه کردن به تصویر موز نسبت به تصویر فوتبال و سبزیجات برخلاف کودکان عادی
(۳۰)	بهبود الگوریتم تشخیص خیرگی مرجع (۳۲)	۱. کودکان ASD نسبت به کودکان عادی زمان کمتری صرف نگاه کردن به صحنهٔ اجتماعی می‌کنند. ۲. مقایسهٔ الگوریتم پیشنهادی با آزمون استاندارد طلایی و به دست آوردن نرخ خطای کمتر از ۱/۵۲
(۳۱)	ارائهٔ روشی غیر تقویتی، کم هزینه و کارآمد جهت تشخیص زودهنگام اتیسم بدون استفاده از دستگاه ردیابی چشم و قابل اجرا بر روی یک تبلت	۱. تأثیرگذاری محتوای ویدئو نشان داده شده در جداسازی دو گروه ASD و TD
(۳۴)	استفاده از معیار پرش	۱. عدم هماهنگی حرکت دست و چشم ۲. نرخ آرام پرش‌های چشم در کودکان اتیستیک
(۳۶)	بررسی وابستگی الگوهای خیرگی بصری به تشخیص احساسات	۱. کودکان اتیستیکی که در فاز اول بیشتر به ناحیهٔ چشم‌ها نگاه می‌کنند در فاز سوم خطای کمتری دارند. ۲. میزان خطای تشخیص احساسات در کودکان اتیستیک بیش از کودکان عادی می‌باشد ۳. کودکان اتیستیک زمان بیشتری جهت پردازش حالت چهره نیاز دارند و در تشخیص احساسات خصوصاً حالت تعجب، عملکرد کندتری دارند.
(۳۵)	ادغام سیگنال‌های مغزی EEG و داده‌های ردیابی چشم جهت کشف الگوهای بصری در توجه مشترک	۱. مدت زمان خیرگی به نواحی صورت با فعالیت‌های بتا و گاما سیگنال مغزی رابطهٔ مستقیم دارد. ۲. پس از سپری شدن دورهٔ درمان ۶ ماهه میزان توجه مشترک و همبستگی مدت زمان خیرگی و سیگنال مغزی افزایش یافت.
(۲۷)	ادغام سیگنال‌های مغزی EEG و داده‌های ردیابی چشم جهت تشخیص اتیسم	۱. تشخیص اتیسم با دقت ۷۱ درصد توسط SVM با استفاده از آنتروپی شانون ۲. دقت تشخیص ۱۰۰ درصد با استفاده از رگرسیون و بدون استفاده از PCA
(۳۶)	استفاده از مدل‌های مارکوف در تشخیص اتیسم	کارا بودن مدل مارکوف با مرتبهٔ متغیر در تشخیص ۱۰۰ درصد نوزادان اتیستیک و ۹۲ درصد نوزادان عادی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تحلیل ارتباطات غیرکلامی کودکان اتیستیک به‌عنوان یکی از حوزه‌های تحقیقاتی فعال که در سال‌های اخیر دستاوردهای قابل توجهی داشته مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل رفتار کودکان اتیستیک گام مهمی در غربالگری سیستماتیک اتیسم خواهد بود. اما روش‌های مبتنی بر ردیابی چشم با چالش‌های بسیاری مواجه هستند. این چالش‌ها عبارتند از:

تحلیل الگوی رفتاری حاصل از ردیابی چشم کودکان اتیستیک نسبت به وظیفهٔ تعریف شده و محرک مورد استفاده بسیار حساس می‌باشد و چنانچه در طراحی آزمون فاکتورهای متعددی تحت کنترل قرار نگیرند،

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]
[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]

قابلیت تعمیم نتایج به دست آمده کاهش می‌یابد و یا حتی نتایج متناقضی حاصل می‌گردد.

تشخیص مشکلات رفتاری به کمک سیستم‌های هوشمند چندان ساده نیست؛ به عبارتی به دلیل پیچیدگی بالای مسأله، چنین سیستم‌هایی غالباً خطای بالایی دارند. به نظر می‌رسد ترکیب این روش‌ها با روش‌های مبتنی بر عملکرد مغز همچون EEG نتایج مطلوب‌تری ارائه کند.

هرچند اتیسم را نمی‌توان بیماری نادری محسوب کرد، اما به هرحال نرخ پایین ابتلا به آن موجب می‌شود که جامعهٔ آماری محدودی در اختیار داشته باشیم. این مسئله زمانی که صحبت از الگوهای رفتاری و روش ردیابی چشم به میان باشد حادتر می‌شود چرا که در روش‌های مبتنی بر ساختار و عملکرد مغز مجموعه دادهٔ استانداردی جهت ارزیابی موجود می‌باشد در حالی که در روش‌های مبتنی بر ردیابی چشم این چنین مجموعه داده‌ای در دسترس نمی‌باشد. شاید دلیل این امر را بتوان همان وابستگی نتایج به وظیفه‌ها و محرک مورد استفاده دانست.

در این آزمون‌ها نسبت افراد اتیستیک به عادی در کمترین حالت ۳۳٪ می‌باشد در حالی که در دنیای واقعی ۱٪ افراد کل جهان به این بیماری مبتلا هستند. همین یک دلیل کافی است تا لزوم مقاوم بودن روش‌های غربالگری را نسبت به مجموعهٔ آموزشی اثبات کند.

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود اغلب محققین از روش‌های ردیابی چشم به‌منظور تحلیل رفتارهای کودکان اتیستیک استفاده نموده‌اند و مطالعهٔ کم‌تری در خصوص تشخیص هوشمند این اختلال با استفاده از الگوهای رفتاری به دست آمده صورت گرفته است. به عبارت دیگر شکاف عمیقی بین تحلیل هوشمند الگوهای رفتاری و تشخیص هوشمند اختلال طیف اتیسم وجود دارد. بنابراین امید است در رویکردهای آتی با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و یادگیری ماشین در کنار الگوهای رفتاری به دست آمده از روش ردیابی چشم بتوان گامی در راستای غربالگری هوشمند اتیسم برداشت. به‌علاوه اگرچه تحلیل الگوهای رفتاری اساس تشخیص اتیسم محسوب می‌شوند اما ادغام آن با روش‌های مبتنی بر عملکرد مغز می‌تواند نتایج مطلوب‌تری ارائه دهد.

منابع

1. Almourad MB, Bataineh E, Stocker J, Marir F. Analyzing the behavior of autistic and normal developing children using eye tracking data. International Conference on Kansei Engineering & Emotion Research. 2018; 340-9.

2. Lai MC, Lombardo MV, Baron-Cohen S. Autism. The Lancet. 2014; 383(9920): 896-910.

3. Akbari Bayatiani Z. Autism spectrum disorder from diagnosis to treatment. Shefaye Khatam. 2018; 6(4): 93-101.

4. Bozgeyikli L, Raij A, Katkoori S, Alqasemi R. A survey on virtual reality for individuals with autism spectrum disorder: design considerations. IEEE Transactions on Learning Technologies. 2018; 11(2): 133-51.

5. Sarrett JC, Rommelfanger KS. Commentary: attention to eyes is present but in decline in 2-6-month-old infants later diagnosed with autism. Front Public Health. 2015; 3: 272. doi: 10.3389/fpubh.2015.00272.

6. Dolan WN. Using the autism diagnostic observation schedule (ADOS) to discriminate between children with autism and children with language impairments without autism. Master Thesis. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. 2009.

7. Wang J, Wang Q, Zhang H, Chen J, Wang S, Shen D. Sparse multiview task-centralized ensemble learning for ASD diagnosis based on age-and sex-related functional connectivity patterns. IEEE Transactions on Cybernetics. 2018; 49(8): 3141-54.

8. Tejwani R, Liska A, You H, Reinen J, Das P. Autism classification using brain functional connectivity dynamics and machine learning. arXiv preprint arXiv:171208041. 2017.

9. Gök M. A novel machine learning model to predict autism spectrum disorders risk gene. Neural Computing and Applications. 2018; 5: 1-7.

10. Cogill S, Wang L. Support vector machine model of developmental brain gene expression data for prioritization of Autism risk gene candidates. Bioinformatics. 2016; 32(23): 3611-8.

11. Cicarelli Silva A, Varanda C. Eye-tracking technique as an instrument in the diagnosis of autism spectrum disorder. Autism Journal of Autism & Related Disabilities. 2017; 3(3).

12. Frazier TW, Klingemier EW, Parikh S, Speer L, Strauss MS, Eng C, et al. Development and validation of objective and quantitative eye tracking-based measures of autism risk and symptom levels. J Am Acad Child Adolesc Psychiatry. 2018; 57(11): 858-66.

13. Frazier TW, Klingemier EW, Parikh S, Speer L, Strauss MS, Eng C, et al. Development and Validation of objective and quantitative eye tracking– based measures of autism risk and symptom levels. Journal of the

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]

[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]

American Academy of Child & Adolescent Psychiatry. 2018; 57(11): 858-66.

14. Murias M, Major S, Davlantis K, Franz L, Harris A, Rardin B, et al. Validation of eye-tracking measures of social attention as a potential biomarker for autism clinical trials. Autism Res. 2018; 11(1): 166-74.

15. Nagel GL. Use of eye tracking for esports analytics in a MOBA game, Master Thesis. The University of Bergen, Faculty of Social Sciences. 2017.

16. Gredebäck G, Johnson S, Von Hofsten C. Eye tracking in infancy research. Dev Neuropsychol. 2009; 35(1): 1-19.

17. Lund H. Eye tracking in library and information science: a literature review. Library Hi Tech. 2016; 34(4): 585-614.

18. Nystrom M, Holmqvist K. An adaptive algorithm for fixation, saccade, and glissade detection in eyetracking data. Behav Res Methods. 2010; 42(1): 188-204.

19. Liversedge S, Gilchrist I, Everling S. The Oxford handbook of eye movements: Oxford University Press. 2011.

20. Liversedge SP, Findlay JM. Saccadic eye movements and cognition. Trends Cogn Sci. 2000; 4(1): 6-14.

21. Boucheix J-M, Lowe RK. An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. Learning and Instruction. 2010; 20(2): 123-35.

22. Mahmoody M, Gobari Bonab B, Shokoohi Yekta M, Pooretemad HR, Akbari Zardkhaneh S. A preliminery study on the development of an expert system for diagnosing 2-6 years old autisitic children. Journal of Psychology. 2014; 18: 94-110.

23. Shihab I. Classification and monitoring of autism using SVM and VMCM. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2018; 96(14):4379-89.

24. Moore A, Wozniak M, Yousef A, Barnes CC, Cha D, Courchesne E, et al. The geometric preference subtype in ASD: identifying a consistent, early-emerging phenomenon through eye tracking. Mol Autism. 2018; 9(1): 19-32.

25. Wan G, Kong X, Sun B, Yu S, Tu Y, Park J, et al. Applying eye tracking to identify autism spectrum disorder in children. J Autism Dev Disord. 2018; 49(1): 209-15.

26. Bal E, Harden E, Lamb D, Van Hecke AV, Denver JW, Porges SW. Emotion recognition in children with autism spectrum disorders: relations to eye gaze and autonomic state. J Autism Dev Disord. 2010; 40(3): 358-70.

27. Thapaliya S, Jayarathna S, Jaime M. Evaluating the EEG and eye movements for Autism spectrum disorder. 2018 IEEE international conference on big data (Big Data). 2018; 2328-36.

28. Samad MD, Diawara N, Bobzien JL, Harrington JW, Witherow MA, Iftekharuddin KM. A feasibility study of autism behavioral markers in spontaneous facial, visual, and hand movement response data. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2018; 26(2): 353-61.

29. Shic F, Macari S, Chawarska K. Speech disturbs face scanning in 6-month-old infants who develop autism spectrum disorder. Biol Psychiatry. 2014; 75(3): 231-7.

30. Vargas-Cuentas NI, Roman-Gonzalez A, Gilman RH, Barrientos F, Ting J, Hidalgo D, et al. Developing an eye-tracking algorithm as a potential tool for early diagnosis of autism spectrum disorder in children. PLoS One. 2017; 12(11): e0188826.

31. Vargas-Cuentas NI, Hidalgo D, Roman-Gonzalez A, Power M, Gilman RH, Zimic M. Diagnosis of autism using an eye tracking system. 2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC); Seattle, WA2016. 624-7.

32. Yi L, Quinn PC, Fan Y, Huang D, Feng C, Joseph L, et al. Children with Autism spectrum disorder scan own-race faces differently from other-race faces. J Exp Child Psychol; 2016; 141: 177-86.

33. Liu W, Li M, Yi L. Identifying children with autism spectrum disorder based on their face processing abnormality: A machine learning framework. Autism Res. 2016; 9(8): 888-98.

34. Crippa A, Forti S, Perego P, Molteni M. Eye-hand coordination in children with high functioning autism and Asperger's disorder using a gap-overlap paradigm. J Autism Dev Disord. 2013; 43(4): 841-50.

35. Billeci L, Narzisi A, Tonacci A, Sbriscia-Fioretti B, Serasini L, Fulceri F, et al. An integrated EEG and eye-tracking approach for the study of responding and initiating joint attention in Autism spectrum disorders. Sci Rep. 2017; 7(1): 13560. doi: 10.1038/s41598-017-13053-4.

36. Alie D, Mahoor MH, Mattson WI, Anderson DR, Messinger DS. Analysis of eye gaze pattern of infants at risk of autism spectrum disorder using markov models. 2011 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV). 2011; 282-7.

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-16]

[DOI: 10.29252/shefa.7.4.79]