

افزایش توانایی‌های شناختی در یادگیری الکترونیکی با توجه به فعالیت‌های مغز و حرکات چشم

مقدمه

در حال حاضر، در عین حال که محیط‌های مختلفی برای یادگیری الکترونیکی با هدف ارائه‌ی محتوای آموزشی و ارزیابی موثر برای یادگیرندگان وجود دارد و بسیاری از آن‌ها به موضوع مهم شخصی‌سازی^۱ توجه کرده‌اند؛ ولی شخصی‌سازی بر اساس فرآیندهای شناختی^۲ از توجه کمتری برخوردار بوده‌است. با انتقال آموزش از آموزش حضوری به آموزش الکترونیکی، فناوری‌های جدید، مانند رابط مغز و کامپیوتر^۳ و ردیابی چشم^۴، پتانسیل بهبود محیط یادگیری الکترونیکی را دارند. رابط‌های شناختی می‌توانند موجب ایجاد درک بهتری از عملکردهای مغز^۵ و توسعه‌ی روش‌های یادگیری مؤثرتر و تقویت مهارت‌های مبتنی بر مغز شوند. در ادامه یک مرور روشمند ادبیات^۶ تحقیق در مورد استفاده از رابط‌های کامپیوتری مغز و ردیابی چشم برای سنجش مهارت‌های شناختی دانش آموزان در طول یادگیری الکترونیکی ارائه شده است.

یادگیری، فرآیندی پیچیده با اجزای تعاملی متعدد شامل درک مفاهیم و شواهد، به‌یادسپاری دانش واقعی، دستیابی به روش‌ها، استراتژی‌ها، رویکردها و استدلات، شناخت و بحث درباره‌ی ایده‌ها و انجام رفتارهای مرتبط با موقعیت‌های خاص است.

یادگیری می‌تواند به طرق مختلف صورت گیرد. در طول زندگی، یادگیری به صورت غیررسمی (مثلاً یادگیری از طریق تجربه یا مشاهده بدون آگاهی کامل، یا کسب دانش از طریق تماشای اخبار یا خواندن روزنامه) و رسمی (مثلاً یادگیری در کلاس درس، با برنامه‌ی درسی سازمان‌یافته و ساختاریافته) صورت می‌گیرد (Kolb, ۱۹۷۶).

1 personalization

2 cognitive processes

3 brain-computer interface (BCI)

4 eye-tracking

5 brain functions

6 systematic literature review (SLR)

عملکرد تحصیلی یادگیرندگان تحت تأثیر عوامل تأثیرگذار مختلفی مانند توجه، بار شناختی^۱، خواب، هیجان و استرس است که ریشه در وضعیت شناختی و عاطفی مغز آن‌ها دارد (Jamil و همکاران، ۲۰۲۱). تحقیقات زیادی در مورد توجه، انجذاب^۲، حواس‌پرتی و تعامل انجام شده است که می‌توان از آن‌ها در یادگیری الکترونیکی نیز استفاده کرد. کاهش تعاملات چهره به چهره‌ی مدرسان و یادگیرندگان در یادگیری الکترونیکی، باعث می‌شود تا مدرسان نتوانند بر توجه یادگیرندگان نظارت داشته باشند. همچنین تعامل بین آن‌ها در مکالمات غیرحضوری دشوارتر خواهد بود؛ هر چند تعامل میان آن‌ها بسیار ضروری بوده و نمرات و احساس رضایت یادگیرندگان تحت تأثیر تعاملات معلمان با آن‌هاست (Roblyer & Ekhaml، ۲۰۰۰).

اخیراً، حسگرهایی با فناوری‌های جدید، مانند رابط مغز و رایانه و ردیابی چشم، راه‌هایی نوآورانه برای نظارت و اندازه‌گیری عملکرد یادگیرنده ارائه می‌کنند (Jamil و همکاران، ۲۰۲۱). فعالیت الکتریکی مغز را می‌توان به صورت تهاجمی یا غیرتهاجمی، در فرکانس‌های انتخابی مختلف امواج مغزی، مانند امواج آلفا، بتا و تتا، پایش و ارزیابی کرد. این امواج حاوی اطلاعاتی در مورد وضعیت روانی فرد هستند (Gui و همکاران، ۲۰۱۹؛ Tandle و همکاران، ۲۰۱۸). رایج‌ترین و غیرتهاجمی‌ترین روش، الکتروانسفالوگرام (EEG) است، که از طریق قرار دادن الکترودها بر روی پوست سر فرد عمل می‌کند. این رویکرد که پیاده‌سازی آسانی دارد، سیگنال‌ها را با کیفیت بالا با حداقل هزینه ارائه می‌دهد و برای استفاده در زمینه‌ی آموزش مناسب است. بنابراین، با کمک رابط مغز و رایانه (BCI) به عنوان یک ابزار شناختی، می‌توان مغز انسان را برای بررسی، درک و بهبود فرآیند یادگیری مورد مطالعه قرار داد. از سوی دیگر، می‌توان از فناوری‌های ردیابی چشم در محیط آموزش الکترونیکی بررسی نشانه‌ها در کارهای بصری پیچیده استفاده کرد. ردیابی چشم تکنیکی برای اندازه‌گیری حرکات چشم برای تعیین جهت نگاه فرد و توالی و مدت زمان استقرار آن است که می‌تواند به انجذاب یادگیرنده کمک کند. در حالی که ردیابی چشم معمولاً برای مطالعه‌ی رفتار بصری استفاده می‌شود، می‌توان از آن به عنوان یک ابزار آموزشی برای افزایش عملکرد و یادگیری نیز استفاده کرد (Jarodzka و همکاران، ۲۰۲۱).

امروزه در برخی کلاس‌های درس فیزیکی، از پیشانی‌بندهای EEG برای ارزیابی توانایی‌های شناختی دانش‌آموزان مانند خواندن، یادگیری، توجه و حافظه استفاده می‌شود (Ramírez-Moreno، ۲۰۲۱؛ Ko و همکاران، ۲۰۱۷). اما با بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه تا به امروز، آزمایش‌های علوم اعصاب با استفاده از EEG، در محیط‌های یادگیری الکترونیکی هنوز به طور قابل توجه انجام نشده است.

مرور روشمند ادبیات که در ادامه ارائه می‌شود را متمرکز بر بررسی توانایی‌های شناختی یادگیرندگان در محیط یادگیری الکترونیکی، با هدف پرداختن به سؤالات تحقیقاتی زیر در نظر گرفتیم:

۱. چگونه می‌توان توانایی‌های شناختی یادگیرندگان را در محیط یادگیری الکترونیکی اندازه‌گیری کرد؟

۲. چگونه می‌توان یادگیری را در محیط یادگیری الکترونیکی بهبود بخشید؟

این SLR می‌تواند منجر به یک روش آموزش الکترونیکی جدید مبتنی بر الگوهای مغز و چشم شود. هدف آن بررسی انتقادی و مرور ادبیات علمی در مورد توانایی‌های شناختی یادگیرندگان است.

• استراتژی جستجو

این SLR بر روی چهار پایگاه داده‌ی دیجیتالی معتبر PubMed، Scopus، IEEEExplore و ScienceDirect انجام شد. این جستجو از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ انجام شد و چهار سال را در بر گرفت تا روندهای تحقیقاتی اخیر در مورد آموزش الکترونیکی را به تصویر بکشد. تدریس آنلاین برای یادگیری الکترونیکی از اوایل سال ۲۰۲۰ و با همه‌گیری کوید-۱۹ شروع می‌شود. رشته کلیدواژه‌های مورد استفاده در این SLR به شرح زیر است:

- (“eeg” OR “electroencephalo*” OR “BCI” OR “brain-computer interface” OR “brain-computer interface”) AND (“online learn*” OR “remote learn*” OR “distance learn*” OR “e-learn*” OR “elearn*” OR “electronic learn*”)

• معیارهای شمول و عدم شمول

این معیارها به عنوان شناسه‌های تعیین تمرکز اصلی این SLR در نظر گرفته می‌شوند.

هر مطالعه بر اساس معیارهای شمول^۱ زیر در این SLR گنجانده شده است:

۱. یادگیرندگان سالم

۲. محیط یادگیری با حداقل یکی از شرایط آنلاین، الکترونیکی، ترکیبی یا از راه دور

¹ inclusion criteria (IC)

۳. روش‌های مورد استفاده شامل یکی از روش‌های BCI، با تمرکز بیشتر بر EEG و سپس ردیاب چشم

هر مطالعه بر اساس معیارهای عدم شمول^۱ زیر در این SLR گنجانده نشده است:

۱. سال انتشار زودتر از ۲۰۲۰

۲. به زبانی غیر از انگلیسی

۳. مقاله مروری یا فصلی از یک کتاب

۴. یادگیری نامرتبط با هیچ یک از شرایط آنلاین، الکترونیکی، ترکیبی یا از راه دور

۵. تمرکز بر ابزارهای یادگیری مانند واقعیت مجازی و واقعیت افزوده

• تجزیه و تحلیل محتوا

متن کامل مقالاتی که با معیارهای شمول و عدم شمول مطابقت داشتند، تهیه شد. داده‌ها با چهار حوزه تمرکز استخراج شدند: (۱) عوامل تأثیرگذار مرتبط با مهارت‌های شناختی (مانند توجه، رفتار یادگیری و احساسات) که بر فرآیند یادگیری تأثیر می‌گذارند؛ (۲) ابزارها و تکنیک‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری مهارت‌های شناختی؛ (۳) کارهای آزمایشی برای مشاهده تنوع کارهای مورد استفاده در طول آزمایش؛ و (۴) اجرای بازخورد یا نوروفیدبک برای تقویت و بهبود یادگیری.

با مرور مطالعات متعدد، حدوداً ۳۱۷ مقاله یافت شد، و پس از غربالگری با استفاده از معیارهای شمول و عدم شمول، ۵۶ مقاله در نظر گرفته شد.

کلمات کلیدی: بهبود عملکرد محیط‌های یادگیری الکترونیکی، الکتروانسفالوگرام^۲ (نوار مغزی)، ردیابی چشم، توجه^۳، مرور روشمند ادبیات

¹ Exclusion criteria (EC)

3 attention

2 Electroencephalogram (EEG)

مرور ادبیات

• توانایی‌های شناختی یادگیرندگان

ارزیابی توانایی‌های شناختی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های فرآیند یادگیری است. توانایی‌های شناختی مبتنی بر عملکردهای مغز هستند و برای همه فعالیت‌ها، از ساده‌ترین تا چالش‌برانگیزترین، مورد نیاز هستند. این توانایی‌ها به ویژه شامل فعالیت‌های یادگیری، به خاطر سپردن، حل مسئله و توجه هستند (Plomin, ۱۹۹۹). ظرفیت‌های شناختی به‌عنوان شتاب‌دهنده‌ی یادگیری هدف‌محور، با تأثیر مثبت بر پیشرفت تحصیلی در نظر گرفته می‌شوند (Winne و Nesbit, ۲۰۱۰). بدین منظور، مدرسان باید توجه دقیقی به نظارت بر رشد توانایی‌های شناختی یادگیرندگان (که از یادگیرنده‌ای به یادگیرنده‌ی دیگر متفاوت است) داشته باشند. برای درک بهتر نیازهای خاص یادگیرندگان، محققان تمرکز خود را بر نحوه‌ی یادگیری آن‌ها در محیط آنلاین، با تأکید ویژه بر مشارکت آن‌ها (Chiu, ۲۰۲۲)، حافظه‌ی آن‌ها (Giusti و همکاران, ۲۰۲۱) و الگوهای عاطفی و رفتاری آن‌ها در طول دوران تحصیلی خود (Hewson, ۲۰۱۸) قرار داده‌اند.

یکی از اهداف مهم در یادگیری از راه دور، حفظ توجه یادگیرنده است، که مرحله‌ی اولیه در فرآیند یادگیری است. در حالی که مغز انسان در پردازش اطلاعات بسیار موثر است، ظرفیت محدودی دارد؛ به این معنی که نمی‌تواند به تمام ورودی‌ها و خاطره‌ها به طور همزمان پاسخ دهد. مدیریت زمان و سازماندهی محیط مطالعه، مسائل کلیدی برای افزایش تمرکز ذهنی فرد بر روی موضوع درسی مورد نظر، برای جلوگیری از حواس‌پرتی در حین انجام وظیفه‌ی مورد نیاز برای رسیدن به هدف تحصیلی است (Kwon و همکاران, ۲۰۱۸).

در صورتی که یادگیرنده دچار حواس‌پرتی شود و توجه نکند، اطلاعات را دریافت نمی‌کند و در حافظه‌اش ذخیره نمی‌شوند، در نتیجه بعداً امکان بازیابی آن‌ها وجود نخواهد داشت. بنابراین، حواس‌پرتی یادگیرنده و عدم توجه او، موضوع مهمی است که باید مدیریت شود. یکی دیگر از مشکلات یادگیری الکترونیکی و از راه دور این است که مدرس از نحوه‌ی درک یادگیرندگان از مطالب ارائه‌شده بی‌اطلاع است.

توجه یادگیرنده به کار در دست انجام، اهمیت زیادی بر پیشرفت تحصیلی دارد (King و Anastopoulos, ۲۰۱۵). پیامدهای کوتاه شدن دامنه‌ی توجه و کاهش سطح تمرکز در یادگیری آنلاین موجب کاهش تأثیر فرآیند یادگیری می‌شود. علاوه بر این، کاهش انجذاب شناختی و ارتباط اجتماعی یادگیرندگان در طول یادگیری از راه

دور، می‌تواند تأثیر مخربی بر نتایج یادگیری آن‌ها داشته باشد (Bower، ۲۰۱۹). یادگیرنده‌ای که عاری از حواس پرتی باشد، معدل بهتری نسبت به دیگر یادگیرندگان، کسب می‌کند (Kitsantas و همکاران، ۲۰۰۸).

• اندازه‌گیری توانایی‌های شناختی یادگیرندگان

تکنیک‌های خاصی برای اندازه‌گیری توانایی‌های شناختی یادگیرندگان، از روش‌های اندازه‌گیری ذهنی^۱ تا روش‌های اندازه‌گیری عینی^۲ مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد (مارتین، ۲۰۱۴).

رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری ذهنی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: (الف) پرسش‌نامه‌هایی برای خودگزارشی توسط یادگیرندگان، (ب) پرسش‌نامه‌هایی برای گزارش توسط مدرسان درباره‌ی یادگیرندگان، و (ج) آزمون‌های عملکردی (Duckworth و Yeager، ۲۰۱۵). خودگزارش‌دهی و پرسش‌نامه ساده‌ترین و سریع‌ترین روش جمع‌آوری داده‌ها هستند. مجموعه‌ی بزرگی از شواهد جمع‌آوری شده در تحقیقات روان‌شناسی اجتماعی و شناختی نشان می‌دهد که در صورتی که افراد، پاسخی برای سؤالات پرسش‌نامه‌ها داشته باشند و از گزارش صادقانه‌ی آن‌ها رضایت داشته باشند، عموماً در انتقال افکار واقعی خود در هنگام پر کردن پرسش‌نامه‌ها ماهر هستند (Krosnick، ۱۹۹۹). آزمون‌های عملکردی برای اندازه‌گیری عملکرد شناختی یادگیرندگان از چندین رویکرد، از جمله روش‌های غیررسمی مانند برگزاری آزمونک با پاسخ شفاهی کوتاه یا پاسخ کتبی مختصر، و روش‌های رسمی، مانند برگزاری امتحان کتبی نهایی استفاده می‌کنند. با این حال، روش‌های اندازه‌گیری ذهنی دارای محدودیت‌هایی هستند. خودگزارش‌دهی‌ها مستعد سوگیری هستند. مثلاً فشارهای ناشی از مطلوبیت اجتماعی، می‌تواند موجب سوگیری شود، و یادگیرندگان احساس کنند در حین پاسخ دادن به سؤالات باید خوب به نظر برسند. بنابراین، ممکن است به جای حقیقت، پاسخی مورد قبول اجتماع ارائه دهند. همچنین، احتمال بروز سوگیری در پرسش‌نامه‌های مدرسان وجود دارد. برای مثال، برخلاف والدین که یادگیرندگان را در هر موقعیتی می‌بینند، مدرسان آن‌ها را فقط در کلاس درس مشاهده می‌کنند و ممکن است به دلیل ادراک محدودشان از اعمال یادگیرندگان سوءتعبیر داشته باشند (Achenbach و همکاران، ۱۹۸۷).

روش‌های اندازه‌گیری عینی شامل ردیابی چشم و بررسی فعالیت‌های مغزی با استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری عصبی، مانند طیف‌سنجی عملکردی نزدیک به فروسرخ^۳، تصویربرداری تشدید مغناطیسی

¹ subjective

² objective

³ Functional Near-infrared Spectroscopy (fNIRS)

عملکردی^۱، الکتروکورتیکوگرافی^۲، مگنتوانسفالوگرافی یا مغناطیس نگاری مغزی^۳ و EEG است (Dahlstrom-Hakki و همکاران، ۲۰۱۹). روش fNIRS غیر تهاجمی است و حسگرهای آن حتی کوچکترین تغییرات نور را برای تعیین کمیت تغییرات در غلظت هموگلوبین اکسیژن دار و بدون اکسیژن تشخیص می دهند. با این حال، این روش قادر به ارائه ی اطلاعات در مورد آناتومی مغز نیست، و تشخیص فعالیت مغزی بین افراد توسط fNIRS ممکن است تحت تأثیر تغییرات ضخامت جمجمه و ترکیب بافت پوست سر، به ویژه در میان بزرگسالان متفاوت باشد (Chen و همکاران، ۲۰۲۰). روش fMRI نیز تغییرات در سطح اکسیژن خون را بین حالت های مختلف فعالیت مغز تشخیص می دهد. با این حال، به فعالیت مغز در هر عمق حساس است و وضوح فضایی^۴ کافی برای مکان یابی مناطق فعالیت دارد. fMRI به ابزار تصویربرداری اولیه برای شناسایی مناطقی از مغز تبدیل شده است که در پاسخ به انجام یک فعالیت شناختی خاص فعال می شوند. با این حال، fMRI گران است، و بسیار مستعد تصویربرداری از مصنوعات ناشی از حرکات کوچک است. روش MEG تغییرات میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط فعالیت عصبی در مغز را تشخیص می دهد. می توان مانند fMRI از آن برای ایجاد یک نقشه ی عملکردی از مغز و مشخص کردن دقیق مناطق دارای بالاترین فعالیت مغز استفاده کرد. اما وضوح زمانی آن بسیار بالاتر از fMRI است. با این حال، این روش به طور مشابه گران است و به مصنوعات حرکتی حساس است. در مقابل، ECoG و EEG بسیار ارزان تر هستند و هر دو برای نظارت بر فعالیت متوسط ناخالص میلیون ها نورون با وضوح مکانی بالا و پایین استفاده می شوند و نتایج اغلب به شکل تغییرات زمانی امواج نوسانی ارائه می شوند. اما ECoG تهاجمی است و نیاز به جراحی برای قرار دادن آرایه ی الکتروود ECoG در زیر پوست سر دارد. به دلیل محدودیت های عملی مرتبط با بسیاری از روش ها همانطور که در بالا توضیح داده شد، این SLR فقط بر روی EEG و ردیابی چشم برای اندازه گیری توانایی های شناختی یادگیرندگان در محیط یادگیری الکترونیکی تمرکز دارد.

○ اندازه گیری توانایی های شناختی با EEG

یادگیری شامل فرآیندهای عصبی شناختی متعددی از جمله حافظه، پردازش اطلاعات و توجه است که در تعیین نتایج فعالیت آموزشی نقش دارند. BCI ها می توانند برای دسترسی مستقیم به فرآیندهای عصبی شناختی درگیر در یادگیری استفاده شوند و پتانسیل نظارت بر این فرآیندها و کمک به رساندن فرآیندهای آموزشی به سطوح کاملاً جدیدی را دارند. یک مثال این است که از BCI برای تعیین بار شناختی دانش آموزان با ارزیابی

¹ Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

² electrocorticography (ECoG)

³ magnetoencephalography (MEG)

⁴ spatial

وضعیت‌های شناختی آن‌ها استفاده می‌شود. EEG پرکاربردترین فناوری برای ارزیابی فعالیت مغز است (Hsu, ۲۰۲۱؛ Pi و همکاران، ۲۰۲۱؛ Liu, ۲۰۲۱).

سطح توجه به طور قابل توجهی بر نتایج یادگیری دانش آموزان تأثیر می‌گذارد. مدرسان در محیط سنتی چهره به چهره می‌توانند چهره‌ی یادگیرندگان را زیر نظر بگیرند تا ببینند آیا آن‌ها توجه دارند یا خیر. اجرای این استراتژی در محیط آموزش الکترونیکی دشوار است. با این حال، در این محیط‌ها، BCI با ارائه‌ی اطلاعات از طریق دستورات حرکتی و ویژگی‌های شناختی پیچیده، می‌تواند ابزاری برای نظارت بر توجه یادگیرندگان باشد (محمدپور، ۲۰۱۷؛ Lim و همکاران، ۲۰۱۲؛ Aggarwal و همکاران، ۲۰۲۱؛ Hocine, ۲۰۲۱). به عنوان مثال، یک سیستم آگاه از توجه برای کمک به مدرس برای نظارت بر سطح توجه یادگیرندگان با استفاده از داده‌های EEG در یک محیط یادگیری الکترونیکی ایجاد شد (Chen و همکاران، ۲۰۱۷). در رویکردی متفاوت، برخی از محققان از بازی‌های رایانه‌ای برای ارزیابی یادگیرندگان استفاده می‌کنند، به‌ویژه برای افراد مبتلا به اختلال نقص توجه بیش‌فعالی^۱ (Lim و همکاران، ۲۰۱۷؛ Shereena و همکاران، ۲۰۱۹). موفقیت این رویکرد ممکن است به دلیل جذاب، لذت‌بخش و سرگرم‌کننده بودن بازی‌ها باشد. نواحی روی پوست سر که برای تشخیص سیگنال‌های EEG مرتبط با توجه مطلوب است، توسط Yaomanee و همکاران کشف شد (۲۰۱۲). این محققین برای تعیین این‌که آیا آزمودنی‌ها توجه می‌کردند، آزمایش‌هایی انجام دادند که شامل سه کار بود: (الف) شناسایی شکل‌های سه‌بعدی، (ب) خواندن کتاب‌ها، و (ج) تکمیل پرسش‌نامه‌ها. به طور مستقل، Li و همکاران (۲۰۱۰) سطح توجه یادگیرندگان را بر اساس امواج آلفا و تتا در سوابق EEG با استفاده از k-نزدیک‌ترین همسایه^۲ و طبقه‌بندی بیز ساده^۳ شناسایی کرد. در یک رویکرد دیگر، Sethi (۲۰۱۸) ابزاری را برای بهبود توجه یادگیرنده با استفاده از بازخورد عصبی^۴ مبتنی بر EEG در حالی که آزمودنی در حال انجام یک کار خواندنی بود، توسعه داد.

○ اندازه‌گیری توانایی‌های شناختی با ردیابی چشم

پرکاربردترین تکنیک برای ردیابی خودکار توجه، ردیابی چشم است. تحقیقات ثابت کرده است که توجه با حرکات چشم، جهت نگاه و تثبیت بصری^۵ مرتبط است. به عنوان مثال، نگاه یادگیرنده‌ای که دستورات مدرس را دنبال می‌کند احتمالاً نشان‌دهنده‌ی آن است که یادگیرنده از نظر شناختی درگیر فرآیند یادگیری است. ردیابی چشم برای نظارت بر تثبیت بصری نگاه دانش‌آموز در حین پاسخ دادن به سؤالات چند گزینه‌ای روی رایانه اعمال شد (Tsai و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج نشان‌دهنده‌ی آن بود که یادگیرندگانی که تکالیف را با موفقیت حل کرده‌اند،

¹ ADHD

⁴ neurofeedback

² k-nearest neighbor (kNN)

⁵ visual fixation

³ naive Bayesian classification

از نظر بصری تمرکز بیشتری بر روی نمودارهای مرتبط با مسئله داشته‌اند. در همین حین، Moreno-Esteva و Hannula (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای برای نظارت بر توجه یادگیرندگان در طول یک سخنرانی، از ردیابی چشم برای بررسی چگونگی تغییر نگاه یادگیرندگان در پاسخ به سیگنال‌های بصری، صوتی و اشاره‌ی مدرس استفاده کردند. در مطالعه‌ای مشابه، Hutt و همکاران (۲۰۱۷) از ردیابی چشم برای استفاده عمومی^۱ برای نظارت بر سرگردانی ذهن یادگیرندگان در هنگام مشاهده‌ی یک سخنرانی ضبط شده استفاده کرد.

• بهبود توانایی‌های شناختی یادگیرندگان

توانایی یادگیرنده برای یادگیری می‌تواند با آموزش صحیح بهبود یابد. یکی از تکنیک‌های آموزشی برای بهبود شناختی یادگیرندگان، تکرار است. عملکرد حافظه را می‌توان پس از یادگیری تکراری برای مدت طولانی افزایش داد و حفظ کرد (Ebbinghaus و همکاران، ۱۹۱۳). یک مهارت شناختی، با تکرار کافی، در نهایت می‌تواند به یک روال حفظ‌شده تبدیل شود. یادگیرنده درک می‌کند که فاقد چه مهارتی است و بر فعالیت‌هایی تمرکز می‌کند که به او کمک می‌کند تا آن مهارت را توسعه دهد. هنگامی که یک مهارت بارها و بارها تمرین و تکرار می‌شود، انجام فعالیت‌های مرتبط با آن آسان‌تر و راحت‌تر می‌شود.

تحقیقات قبلی نشان داده است که افزایش تکرار در هنگام رمزگذاری و بازیابی حافظه رخ می‌دهد. Jape و همکاران (۲۰۲۲) معتقد بودند رویکرد تکرار با استفاده از فلش‌کارت می‌تواند مهارت‌های دانشجویان پزشکی را بهبود بخشد. برخی از محققین دیگر نشان دادند که تکرار با استفاده از محتوای آموزشی چندرسانه‌ای تعاملی باعث افزایش نتیجه‌ی یادگیری می‌شود (Sutarno و همکاران، ۲۰۱۸). هر بار که تعداد تکرارها افزایش می‌یابد، حداقل یک جنبه از دانش پیشرفت‌های قابل توجهی را نشان می‌دهد (Webb، ۲۰۰۷). بر اساس یافته‌های تحقیقات رفتاری^۲، هنگامی که به یادگیرندگان سه یا شش بار کلمات و جفت کلمات، با تکرار، آموزش داده شد، مهارت‌های تشخیص انجمنی آن‌ها تا حد زیادی بهبود یافت (Yang و همکاران، ۲۰۱۶).

بازخورد^۳ نیز یکی از تکنیک‌های افزایش توانایی‌های شناختی یادگیرندگان است. مغز تداعی‌های فوری را ارزش‌گذاری می‌کند و آن‌ها را اولویت‌بندی می‌کند. مواردی که به طور مکرر و مرتبط به هم هستند، ارتباطات ذهنی قوی‌تری دارند. این نوع پیوندهای مجاورتی را می‌توان با بازخورد فوری ارائه کرد. بازخورد مثبت و بازخورد اصلاحی برای آموزش مغز مورد نیاز است و با ارائه‌ی راهنمایی روشن در مورد چگونگی بهبود دانش، مؤلفه‌های

¹ consumer-grade eye-tracking

³ feedback

² behavioral

مهم یادگیری مؤثر است. انتظار می‌رود عملکرد یادگیری و ارزیابی یادگیرندگان که فعالانه با بازخورد درگیر می‌شوند، افزایش یابد (Race, ۲۰۰۱).

مدرسان به‌عنوان تسهیل‌کننده‌های کلیدی در بهبود بازخورد یادگیرندگان از طریق طراحی برنامه‌ی درسی، راهنمایی و مربیگری شناسایی شده‌اند (Carless و Boud, ۲۰۱۸). Lu و Yang (۲۰۲۱) نشان داده‌اند که یادگیرندگانی که مایل به صرف زمان برای خواندن بازخورد در مورد سوء تفاهمات خود هستند، احتمالاً اثربخشی یادگیری خود را بهبود می‌بخشند. ارزیابی جمعی و تکوینی باید برای تعیین نتایج یادگیری استفاده شود و بازخوردهای مرتبطی را در اختیار یادگیرندگان قرار دهد که ممکن است از آن برای تأثیرگذاری بر عملکرد آینده خود استفاده کنند (Palmer & Wanner, ۲۰۱۸; Watling & Ginsburg, ۲۰۱۷). به طور خلاصه، هر ارزیابی که شامل بازخورد باشد، به افزایش عملکرد شناختی و تحصیلی یادگیرندگان کمک می‌کند.

در نتیجه، این SLR تمرکز ویژه‌ای برای انتخاب مطالعاتی دارد که بازخورد یا نوروفیدبک را اجرا کرده‌اند. نوروفیدبک یک تکنیک بیوفیدبک است که از بازخورد در زمان واقعی از فعالیت مغز برای ارتقاء عملکرد سالم مغز استفاده می‌کند. در طول یک جلسه نوروفیدبک، مغز "می‌آموزد" که چگونه امواج غیر طبیعی را برای یک کار خاص به محدوده طبیعی بازگرداند. به عنوان مثال، وقتی یادگیرنده حواسش پرت می‌شود، امواج مغزی به محدوده‌ی عجیب و غریبی تغییر می‌کند. بازخورد از طریق یک نشانگر، مانند یک نقطه چشمک زن، روی صفحه نمایش رو به یادگیرنده داده می‌شود و مغز یادگیرنده را تشویق می‌کند تا نوسانات خود را به محدوده‌ی ایده‌آل برگرداند.

• آموزش و پرورش

چندین نظریه‌ی آموزشی مختلف وجود دارد که در طول سال‌ها ارائه شده و توسعه یافته است. هر نظریه مزایا و معایب خود را دارد و هر کدام در شکل دادن به روش ارائه‌ی آموزش امروزی تأثیرگذار بوده است. نظریه‌های شناخت‌گرایی و رفتارگرایی نظریه‌های پایه‌ی آموزش هستند. شناخت‌گرایی نظریه‌ای است که بر جنبه‌های شناختی یادگیری تمرکز دارد. این نظریه بر اهمیت درک و به خاطر سپردن اطلاعات تأکید دارد و معتقد است که یادگیرندگان می‌توانند با مطالعه‌ی مطالب مرتبط با علایق و تجربیات خود به بهترین شکل یاد بگیرند. رفتارگرایی نظریه‌ای است که بر نقش شرطی سازی در یادگیری تأکید می‌کند. یعنی همه‌ی رفتارها نتیجه‌ی شرطی شدن هستند و می‌توان رفتار را از طریق استفاده از پاداش و تنبیه کنترل کرد (Pritchard, ۲۰۱۷).

استفاده از روش‌های یادگیری الکترونیکی آنلاین مزایای زیادی دارد. یادگیرندگان می‌توانند همان کیفیت آموزشی را که در یک محیط کلاسی سنتی دریافت می‌کنند، دریافت کنند؛ اما بدون ناراحتی ناشی از تغییر مکان به کلاس. دوره‌های آنلاین اغلب ارزان‌تر از دوره‌های سنتی هستند (Yuhanna و همکاران, ۲۰۲۰). در نهایت،

یادگیری آنلاین به یادگیرندگانی که نمی‌توانند شخصاً در کلاس‌ها شرکت کنند، اجازه می‌دهد تا آموزش باکیفیت دریافت کنند. با وجود این مزایا، معایبی نیز برای آن وجود دارد. بسیاری از دوره‌های آنلاین همان سطح تعامل و بازخورد موجود در کلاس‌های درس سنتی را ارائه نمی‌دهند (Dumford و Miller، ۲۰۱۸). وقتی یادگیرندگان نمی‌توانند مستقیماً با مربی یا سایر همکلاسی‌های خود ارتباط برقرار کنند، ممکن است کمتر احساس مشارکت کنند.

بنابراین یکی از کاربردهای بالقوه فناوری‌های BCI، یادگیری الکترونیکی آنلاین است. در حال حاضر، بیشتر دوره‌های آنلاین بر روی تصاویر یا ویدیوهای ثابت تکیه می‌کنند تا به یادگیرندگان در مورد موضوع آموزش دهند. فناوری‌های BCI می‌توانند برای نظارت و درک فعالیت‌های مغزی یادگیرندگان در زمان واقعی مورد استفاده قرار گیرند. این می‌تواند به شناسایی و کاهش عوامل استرس‌زا در طول یادگیری آنلاین کمک کند. مثلاً با سیستم BCI آموزشی مبتنی بر نوروفیدبک با اندازه‌گیری فعالیت‌های مغز، می‌توان وضعیت ذهنی یادگیرنده را به درستی کنترل کرد. مدرس با استفاده از این اطلاعات و سیگنال‌های شناختی و سطح سرخوردگی یا خستگی یادگیرنده، تکنیک تدریس خود را با وضعیت ذهنی یادگیرنده تنظیم می‌کند تا به او در فرآیند یادگیری کمک کند. علاوه بر این، با فناوری‌های BCI می‌توان به یادگیرندگان درباره‌ی سلامت روانی آن‌ها بازخورد ارائه کرد و به آن‌ها در درک احساسات خود و یادگیری نحوه‌ی مدیریت آن‌ها کمک کرد.

• یافته‌ها

۱. سوال تحقیق ۱: چگونه می‌توان توانایی‌های شناختی یادگیرندگان را در محیط یادگیری الکترونیکی اندازه‌گیری کرد؟

ردیابی چشم به عنوان رایج‌ترین روش، تقریباً ۶۰ درصد کل مقالات را به خود اختصاص داد. دومین روش رایج مورد استفاده، با ۳۰ درصد، EEG بود. روش‌های ترکیبی، ترکیبی از EEG و ردیابی چشم، ردیابی چشم و حالت سر یا ردیابی چشم و ضربان قلب، هر کدام تقریباً به میزان یکسان از باقی مقالات بررسی شده را تشکیل می‌دهند. یکی از مزایای استفاده از روش‌های ترکیبی این است که می‌تواند رفتار یادگیرندگان را در طول کلاس‌های آنلاین متمایز کند.

جداول ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مجموعه داده‌های قابل مشاهده و طبقه‌بندی‌کننده‌ها را برای مقالات بر اساس دستگاه‌های اندازه‌گیری EEG، ردیابی چشم و روش‌های ترکیبی نشان می‌دهند. این جداول نشان می‌دهد که برخی از مقالات با توجه به هدف مقاله، طبقه‌بندی نکردن امواج مغز یا حرکت ردیابی چشم، نام طبقه‌بندی‌کننده را ذکر نکرده‌اند. مقالات با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مانند ANOVA یا t-test بیشتر بر روی نتیجه

تمرکز می‌کنند. با توجه به مقالات با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری، مقایسه‌ی قبل و بعد آزمایش برای مشاهده بهبود شناخت یادگیرندگان برای مطالعات اهمیت بیشتری دارد.

جدول ۱ - مروری بر مجموعه داده‌ها (تعداد شرکت‌کنندگان) و طبقه‌بندی‌کننده‌های مقالات بر اساس EEG

مقاله	مجموعه داده	طبقه‌بندی	تحلیل آماری
Aggarwal et al. (2021)	۱۲	Support Vector Machine	-
Hsu (2021)	۶۷	ذکر نشده	t-test
Gupta and Kumar (2021)	۸۰	Classification algorithm	-
Tikadar & Bhattacharya (2021)	۱۵	Support Vector Machine	-
Udayana et al. (2021)	۲۰	Deep learning	-
Pi et al. (2021)	۲۶	ذکر نشده	ANOVA
Umezawa et al. (2020)	۱۸	NeuroSky device algorithm	Chi-squared test
Conrad and Newman (2021)	۴۸	ذکر نشده	Linear mixed model

-	ذکر نشده	۱۰	Baharum et al. (2020)
-	Chip's algorithm (Mind wave)	۲۸	Ni et al. (2020)
t-test	ذکر نشده	۲۷	Jitsopitanon et al. (2021)
ANOVA	ذکر نشده	۳۸	Lin et al. (2022)

جدول ۲ - مروری بر مجموعه داده‌ها (تعداد شرکت کنندگان) و طبقه‌بندی‌کننده‌های مقالات بر اساس ردیاب

چشمی

مقاله	مجموعه داده	طبقه‌بندی	تحلیل آماری
Brandenburger et al. (2019)	20	ذکر نشده	t-test
Srivastava et al. (2021)	45	ذکر نشده	Discrete Time Markov Chain
Nugrahaningsih et al. (2021)	90	ذکر نشده	Shapiro-Wilk test
Hocine (2021)	40	Convolutional Neural Network	-

-	Convolutional Neural Network	dataset DAiSEE	Wang et al. (2020)
-	One-Class Support Vector Machines	10	Dilini (2021)
Linear mixed model	ذکر نشده	23	Matthew (2021)
ANOVA	ذکر نشده	60	Wang et al. (2020)
ANOVA	ذکر نشده	116	Kokoç et al. (2020)
Gaussian distribution	Support Vector Machine & Random Forest	40	Sharma et al. (2020)
t-test & Mann-Whitney U test	ذکر نشده	60	Liu et al. (2022)
Null Hypothesis Significance Testing, Bayesian & ANOVA	ذکر نشده	77	Lee and Muldner (2020)
ANCOVA	ذکر نشده	174	Pi et al. (2020)

ANOVA & Mann-Whitney U test	ذکر نشده	64	Polat (2020)
t-test & ANCOVA	ذکر نشده	39	de Mooij et al. (2020)
ANCOVA	ذکر نشده	63	Yang et al. (2021)
t-test	ذکر نشده	48	Zhai et al. (2022)
ANOVA & Linear regression equation	ذکر نشده	40	Jónsdóttir et al. (2021)
Multivariate analysis	ذکر نشده	30	Anggraini et al. (2020)
The average gaze time percentage	ذکر نشده	6	Hachisuka et al. (2021)
ANOVA & t-test	ذکر نشده	40	Chen et al. (2021)
ANCOVA	ذکر نشده	37	Rets & Rogaten (2021)
ANOVA	ذکر نشده	16	VandenPlas et al. (2021)

ANOVA	ذکر نشده	28	Zhang (2021)
ANOVA	ذکر نشده	201	Shojaee et al. (2021)

جدول ۳ - مروری بر مجموعه داده‌ها (تعداد شرکت‌کنندگان) و طبقه‌بندی‌کننده‌های مقالات بر اساس روش‌های ترکیبی

مقاله	مجموعه داده	طبقه‌بندی	تحلیل آماری
Alrawahneh & Safei (2021)	۱۰	Haar Cascade	-
Francisti et al. (2020)	نمونه‌ای از یادگیرندگان	Nearest squares' (clustering)	Lilliefors test
Liu (2021)	۴۲	ذکر نشده	Mann-Whitney U test & ANOVA

۲. سوال تحقیق ۲: چگونه می‌توان یادگیری را در محیط یادگیری الکترونیکی بهبود بخشید؟

ارائه‌ی بازخورد به یادگیرندگان ممکن است به طور قابل توجهی یادگیری و عملکرد آن‌ها را بهبود بخشد. بازخورد مؤثر یادگیرندگان را تشویق می‌کند تا در مورد روش‌های یادگیری و یادگیری خود تأمل کنند و تغییراتی را برای بهبود فرآیند یادگیری خود ایجاد کنند (Torres و همکاران، ۲۰۲۰؛ Boase-Jelinek و همکاران،

۲۰۱۳). با این حال، بر اساس مقالات موجود در این SLR، تعداد کمی از مقالات بازخورد یا نوروفیدبک را ارائه کرده‌اند.

سه مقاله از این میان، نوروفیدبک را با استفاده از دستگاه‌های EEG اجرا می‌کنند. Kumar و Gupta (۲۰۲۱) نوروفیدبک را در مورد انجذاب یادگیرندگان ارائه کردند و پیش‌بینی کردند که توجه یادگیرندگانی که انجذابی درباره‌ی موضوع یا محتوا نداشتند، کاهش می‌یابد. دومین مقاله از سه مقاله (Udayana و همکاران، ۲۰۲۱) در مورد بهبود سطح توجه یادگیرنده‌ی تحت نظارت در طول تمرین تنفسی است. در مقاله‌ی سوم، Baharum و همکاران (۲۰۲۰) برنامه‌ای مؤثر برای نظارت بر سطح تمرکز یادگیرندگان استفاده کرد. این برنامه با نمایش کدهای رنگی مشخص‌کننده‌ی شش سطح تمرکز ارائه شد.

Wang و همکاران (۲۰۲۰) برنامه‌ای ساختند که می‌تواند به صورت فوری از یک دوربین برای ردیابی چشم و پیش‌بینی در زمان واقعی سطح تعامل یادگیرندگان در چهار سطح از پیش تعریف شده‌ی (۱) مجذوب نشده، (۲) کمتر مجذوب شده، (۳) مجذوب شده و (۴) زیاد مجذوب شده داشته باشد. در مطالعه‌ی دیگر، Alrawahneh و Safei (۲۰۲۱) یادگیرندگان را در حین کار مشاهده می‌کردند و بازخورد مستقیمی در مورد سطح تمرکز آن‌ها نسبت به متخصصان به مدرس ارائه می‌کردند. در نهایت، Hachisuka و همکاران (۲۰۲۱) روشی را پیشنهاد کردند که در آن یادگیرندگان باید به صورت شفاهی به آزمون‌ها پاسخ می‌دادند. برای بازخورد، پاسخ و توضیح مناسب برای هر سوال با جزئیات ارائه شده توسط مدرس ارائه شد. نشان داده شد که این سیستم یادگیری در حین دیدن چهره مدرس، حس امنیت را در یادگیرندگان ایجاد می‌کند و تمرکز آن‌ها را حفظ می‌کند.

نتیجه‌گیری

یک مرور روشمند ادبیات از روش‌های فعلی اندازه‌گیری مهارت‌های شناختی یادگیرندگان در حین یادگیری آنلاین انجام داده شد. حدود نیمی از مطالعات بررسی شده، از EEG یا ردیابی چشم با تمرکز بر توجه به عنوان یک عامل تأثیرگذار استفاده کرده‌اند. این نشان دهنده‌ی علاقه‌ی پایدار به این عامل تأثیرگذاری است.

تاریخچه یادگیری الکترونیکی طولانی و متنوع است. انواع مختلف آن عبارتند از یادگیری آنلاین، یادگیری ترکیبی و یادگیری از راه دور. استفاده از آن از اواسط قرن بیستم آغاز شد (Harasim، ۲۰۰۰). توسعه‌ی رایانه‌ها و اینترنت این امکان را برای افراد فراهم کرد تا از هر نقطه‌ی از جهان به دوره‌های آموزشی دسترسی داشته باشند (Kentnor، ۲۰۱۵). و به دلایل مختلفی در اواخر قرن بیستم به طور فزاینده‌ای محبوب شد. اول این که بسیار ارزان‌تر از آموزش سنتی است. دوم این که این امکان را به یادگیرندگان می‌دهد که از هر نقطه‌ای در جهان، آموزش با کیفیت دریافت کنند. و در نهایت، به دانش‌آموزان این امکان را می‌دهد که بدون نیاز به غیبت در کلاس یا

استراحت طولانی، با سرعت خودشان یاد بگیرند. یادگیری الکترونیکی مدت زیادی وجود داشته است، اما تا قبل از شیوع کووید-۱۹ محبوبیت پیدا نکرد. قبل از آن، یادگیری الکترونیکی عمدتاً توسط یادگیرندگانی استفاده می‌شد که نیاز به گذراندن دوره‌هایی داشتند که امکان حضور فیزیکی آن‌ها بسیار دشوار یا وقت‌گیر بود (Jonasen و همکاران، ۲۰۱۵)

با توجه به همه‌گیری کووید-۱۹، یادگیری الکترونیکی باقی مانده است و مطمئناً به گسترش خود ادامه خواهد داد و بر آموزش عالی تأثیر می‌گذارد. این SLR روش‌های BCI و دستگاه‌هایی از جمله EEG را که در حال حاضر برای نظارت و اندازه‌گیری عوامل تأثیرگذار مختلف در محیط یادگیری الکترونیکی استفاده می‌شوند، بررسی کرد. برای اندازه‌گیری عوامل تأثیرگذار، از کارهای مختلفی در آزمایش‌ها استفاده شد.

در حالی که آموزش الکترونیکی به شدت در برنامه‌ریزی و طراحی محتوای آموزشی با استفاده از مدل‌ها و تئوری‌های مختلف گنجانده شده است، انتقال به بستر آنلاین به دلیل عدم تهیه، طراحی و توسعه‌ی مناسب برنامه‌های آموزشی آنلاین زیر سوال رفته است. علاوه بر این، مدرسان باید با ایده‌های آموزشی جدید و روش ارائه‌ی انعطاف‌پذیرتر مطابقت داشته باشند. یادگیرندگان ممکن است به دلیل شرایط جدید در محیط آموزشی تحت کووید-۱۹ از نظر عاطفی آسیب ببینند.

منابع

- Achenbach, T. M., McConaughy, S. H., & Howell, C. T. (1987). Child/adolescent behavioral and emotional problems: implications of cross-informant correlations for situational specificity. *Psychological Bulletin*, 101(2), 213
- Aggarwal, S., Lamba, M., Verma, K., Khuttan, S., & Gautam, H. (2021). A preliminary investigation for assessing attention levels for massive online open courses learning environment using eeg signals: An experimental study. *Human Behavior and Emerging Technologies*
- Alrawahneh, A., & Safei, S. (2021). A model of video watching concentration level measurement among students using head pose and eye tracking detection. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 4305–4315
- Anastopoulos, A. D., & King, K. A. (2015). A cognitive-behavior therapy and mentoring program for college students with adhd. *Cognitive and Behavioral Practice*, 22(2), 141–151.
- Anggraini, W., Sunawan, S., & Murtadho, A. (2020). The effects of the presence of tutor in the learning video on cognitive load and academic achievement. *Islamic Guidance and Counseling Journal*, 3(1), 9–17.

- Baharum, A., Lim, Y. W., Yahya, F., Nazlah, N. H., Nor, N. A. M., Ismail, I., & Noor, N. A. M. (2020). Mobile learning application: Flipped classroom. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 17(2), 1084–1090.
- Boase-Jelinek, D., Parker, J., & Herrington, J. (2013). Student reflection and learning through peer reviews. *Issues in Educational Research*, 23(2), 119–131.
- Bower, M. (2019). Technology-mediated learning theory. *British Journal of Educational Technology*, 50(3), 1035–1048.
- Brandenburger, J., Constapel, M., Hellbrück, H., & Janneck, M. (2019). Analysis of types, positioning and appearance of visualizations in online teaching environments to improve learning experiences. In: *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, pp. 355–366. Springer
- Buono, P., De Carolis, B., D’Errico, F. *et al.* Assessing student engagement from facial behavior in on-line learning. *Multimed Tools Appl* 82, 12859–12877 (2023).
- Blitz, M.J., Barfield, W. (2023). Memory Enhancement and Brain–Computer Interface Devices: Technological Possibilities and Constitutional Challenges. In: Dubljević, V., Coin, A. (eds) *Policy, Identity, and Neurotechnology. Advances in Neuroethics*. Springer, Cham.
- Carless, D., & Boud, D. (2018). The development of student feedback literacy: enabling uptake of feedback. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 43(8), 1315–1325.
- Chen, Y., Gao, Q., & Gao, G. (2021). Timeline-anchored comments in video-based learning: The impact of visual layout and content depth. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 1–16
- Chen, W.-L., Wagner, J., Heugel, N., Sugar, J., Lee, Y.-W., Conant, L., Malloy, M., Hefernan, J., Quirk, B., Zinos, A., et al. (2020). Functional near-infrared spectroscopy and its clinical application in the field of neuroscience: advances and future directions. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 724.
- Chen, C.-M., Wang, J.-Y., & Yu, C.-M. (2017). Assessing the attention levels of students by using a novel attention aware system based on brainwave signals. *British Journal of Educational Technology*, 48(2), 348–369.
- Chiu, T. K. (2022). Applying the self-determination theory (sdt) to explain student engagement in online learning during the covid-19 pandemic. *Journal of Research on Technology in Education*, 54(sup1), 14–30
- Conrad, C., & Newman, A. (2021). Measuring mind wandering during online lectures assessed with eeg. *Frontiers in Human Neuroscience*, 455

- Dahlstrom-Hakki, I., Asbell-Clarke, J., & Rowe, E. (2019). Showing is knowing: The potential and challenges of using neurocognitive measures of implicit learning in the classroom. *Mind, Brain, and Education*,13(1), 30–40.
- de Mooij, S. M., Kirkham, N. Z., Raijmakers, M. E., van der Maas, H. L., & Dumontheil, I. (2020). Should online math learning environments be tailored to individuals' cognitive profiles? *Journal of experimental child psychology*,191, 104730.
- Dilini, N., Senaratne, A., Yasarithna, T., Warnajith, N., & Seneviratne, L. (2021). Cheating detection in browser-based online exams through eye gaze tracking. In: 2021 6th International Conference on Information Technology Research (ICITR), pp. 1–8. IEEE
- Duckworth, A. L., & Yeager, D. S. (2015). Measurement matters: Assessing personal qualities other than cognitive ability for educational purposes. *Educational Researcher*,44(4), 237–251.
- Dumford, A. D., & Miller, A. L. (2018). Online learning in higher education: exploring advantages and disadvantages for engagement. *Journal of Computing in Higher Education*,30(3), 452–465.
- Ebbinghaus, H., Ruger, H. A., & Bussenius, C. E. (1913). Our knowledge concerning memory.
- Francisti, J., Balogh, Z., Reichel, J., Magdin, M., Koprda, Š, & Molnár, G. (2020). Application experiences using iot devices in education. *Applied Sciences*,10(20), 7286.
- Giusti, L., Mammarella, S., Salza, A., Del Vecchio, S., Ussorio, D., Casacchia, M., & Roncone, R. (2021). Predictors of academic performance during the covid-19 outbreak: impact of distance education on mental health, social cognition and memory abilities in an italian university student sample. *BMC Psychology*,9(1), 1–17.
- Gui, Q., Ruiz-Blondet, M. V., Laszlo, S., & Jin, Z. (2019). A survey on brain biometrics. *ACM Computing Surveys (CSUR)*,51(6), 1–38.
- Gupta, S., Kumar, P. (2021). Attention recognition system in online learning platform using eeg signals. In: *Emerging Technologies for Smart Cities* (pp. 139–152). Springer
- Hachisuka, S., Kurita, K., & Warisawa, S. (2021). The eye gaze tracking during online learning with teacher's facial image for junior and senior high school students. In: 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology & Education (TALE), pp. 1–2. IEEE
- Harasim, L. (2000). Shift happens: Online education as a new paradigm in learning. *The Internet and Higher Education*, 3(1–2), 41–61.
- Hewson, E. R. (2018). Students' emotional engagement, motivation and behaviour over the life of an online course: Reflections on two market research case studies. *Journal of Interactive Media in Education* 1(10)

- Hocine, N. (2021). Attention-based adaptation in gamified moocs. In: 2021 International Conference on Information Systems and Advanced Technologies (ICISAT), pp. 1–7. IEEE
- Hsu, L. (2021). A tale of two classes: Tourism students' cognitive loads and learning outcomes in faceto-face and online classes. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, 29, 100342.
- Hutt, S., Hardey, J., Bixler, R., Stewart, A., Risko, E., & D'Mello, S. K. (2017). Gaze-based detection of mind wandering during lecture viewing. International Educational Data Mining Society
- Jamil, N., Belkacem, A. N., Ouhbi, S., & Guger, C. (2021). Cognitive and affective brain–computer interfaces for improving learning strategies and enhancing student capabilities: A systematic literature review. *IEEE Access*
- Jape, D., Zhou, J., & Bullock, S. (2022). A spaced-repetition approach to enhance medical student learning and engagement in medical pharmacology. *BMC Medical Education*, 22(1), 1–11.
- Jarodzka, H., Skuballa, I., & Gruber, H. (2021). Eye-tracking in educational practice: Investigating visual perception underlying teaching and learning in the classroom. *Educational Psychology Review*, 33(1), 1–10.
- Jitsopitanon, J., Chaijaroen, S., & Vongtathum, P. (2021). The validation of constructivist web-based learning environment model to enhance creativity thinking for undergraduate student with integration of pedagogy and neuroscience. In: *International Conference on Innovative Technologies and Learning*, pp. 183–188. Springer
- Jonassen, D., Spector, M.J., Driscoll, M., Merrill, M.D., van Merriënboer, J., Driscoll, M.P. (2008). *Handbook of research on educational communications and technology: a Project of the association for educational communications and technology*. Routledge, Taylor and Francis Group
- Jónsdóttir, A. A., Kang, Z., Sun, T., Mandal, S., & Kim, J.-E. (2021). The effects of language barriers and time constraints on online learning performance: An eye-tracking study. *Human Factors*, 00187208211010949
- Kentnor, H. E. (2015). Distance education and the evolution of online learning in the united states. *Curriculum and Teaching Dialogue*, 17(1), 21–34
- Kitsantas, A., Winsler, A., & Huie, F. (2008). Self-regulation and ability predictors of academic success during college: A predictive validity study. *Journal of Advanced Academics*, 20(1), 42–68.
- Ko, L.-W., Komarov, O., Hairston, W. D., Jung, T.-P., & Lin, C.-T. (2017). Sustained attention in real classroom settings: An eeg study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 388.
- Kokoç, M., Ilgaz, H., & Altun, A. (2020). Effects of sustained attention and video lecture types on learning performances. *Educational Technology Research and Development* 68(6), 3015–3039

- Kolb, D. A. (1976). Management and the learning process. *California Management Review*, 18(3), 21–31.
- Krosnick, J. A. (1999). Survey research. *Annual Review of Psychology*, 50(1), 537–567.
- Kwon, S. J., Kim, Y., & Kwak, Y. (2018). Difficulties faced by university students with self-reported symptoms of attention-deficit hyperactivity disorder: a qualitative study. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 12(1), 1–8.
- Lee, B., & Muldner, K. (2020). Instructional video design: Investigating the impact of monologue- and dialogue-style presentations. In: *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–12
- Lim, C. G., Lee, T. S., Guan, C., Fung, D. S. S., Zhao, Y., Teng, S. S. W., Zhang, H., & Krishnan, K. R. R. (2012). A brain-computer interface based attention training program for treating attention deficit hyperactivity disorder. *PloS One* 7(10), 46692
- Lim, C. G., Poh, X. W. W., Fung, S. S. D., Guan, C., Bautista, D., Cheung, Y. B., Zhang, H., Yeo, S. N., Krishnan, R., & Lee, T. S. (2019). A randomized controlled trial of a brain-computer interface based attention training program for adhd. *PloS One*, 14(5), 0216225.
- Lin, C.-H., Wu, W.-H., & Lee, T.-N. (2022). Using an online learning platform to show students' achievements and attention in the video lecture and online practice learning environments. *Educational Technology & Society*, 25(1), 155–165.
- Liu, Y., Ma, W., Guo, X., Lin, X., Wu, C., Zhu, T. (2021). Impacts of color coding on programming learning in multimedia learning: Moving toward a multimodal methodology. *Frontiers in Psychology*, 12
- Liu, Z., Yin, H., Cui, W., Xu, B., & Zhang, M. (2022). How to reflect more effectively in online video learning: Balancing processes and outcomes. *British Journal of Educational Technology*, 53(1), 114–129.
- Matthew, G. (2021). Do additional, visual elements in recorded lectures influence the processing of subtitles? *Southern African Linguistics and Applied Language Studies*, 39(1), 66–81.
- Mohammadpour, M., & Mozafari, S. (2017). Classification of eeg-based attention for brain computer interface. In: *2017 3rd Iranian Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ICSPIS)*, pp. 34–37. IEEE
- Moreno-Esteva, E. G., & Hannula, M. (2015) Using gaze tracking technology to study student visual attention during teacher's presentation on board. In: *CERME 9-Ninth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, pp. 1393–1399.
- Ni, D., Wang, S., & Liu, G. (2020). The eeg-based attention analysis in multimedia m-learning. *Computational and Mathematical Methods in Medicine* 2020

- Nugrahaningsih, N., Porta, M., Klašnja-Milićević, A. (2021). Assessing learning styles through eye tracking for e-learning applications. *Computer Science and Information Systems*(00),35–35
- Pathak, D., Kashyap, R. (2024). Evaluating E-learning Engagement Through EEG Signal Analysis with Convolutional Neural Networks. In: Devi, B.R., Kumar, K., Raju, M., Raju, K.S., Sellathurai, M. (eds) *Proceedings of Fifth International Conference on Computer and Communication Technologies. IC3T 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 897. Springer, Singapore.
- Pi, Z., Xu, K., Liu, C., & Yang, J. (2020). Instructor presence in video lectures: Eye gaze matters, but not body orientation. *Computers & Education*,144, 103713.
- Pi, Z., Zhang, Y., Zhou, W., Xu, K., Chen, Y., Yang, J., & Zhao, Q. (2021). Learning by explaining to oneself and a peer enhances learners' theta and alpha oscillations while watching video lectures. *British Journal of Educational Technology*,52(2), 659–679.
- Plomin, R. (1999). Genetics and general cognitive ability. *Nature*, 402(6761), 25–29.
- Polat, H. (2020). Investigating the use of text positions on videos: An eye movement study. *Contemporary Educational Technology* 12(1)
- Race, P. (2001). Using feedback to help students to learn. *The Higher Education Academy*
- Ramírez-Moreno, M. A., Díaz-Padilla, M., Valenzuela-Gómez, K. D., Vargas-Martínez, A., TudónMartínez, J. C., Morales-Menendez, R., Ramírez-Mendoza, R. A., Pérez-Henríquez, B. L., & Lozoya-Santos, J. D. J. (2021). Eeg-based tool for prediction of university students' cognitive performance in the classroom. *Brain Sciences* 11(6),698
- Rets, I., & Rogaten, J. (2021). To simplify or not? facilitating english l2 users' comprehension and processing of open educational resources in english using text simplification. *Journal of Computer Assisted Learning*,37(3), 705–717.
- Roblyer, M., & Ekhaml, L. (2000). How interactive are your distance courses? a rubric for assessing interaction in distance learning. *Online Journal of Distance Learning Administration*,3(2), 1.
- Sethi, C., Dabas, H., Dua, C., Dalawat, M., & Sethia, D. (2018). Eeg-based attention feedback to improve focus in e-learning. In: *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence*, pp. 321–326
- Sharma, K., Giannakos, M., & Dillenbourg, P. (2020). Eye-tracking and artificial intelligence to enhance motivation and learning. *Smart Learning Environments*, 7(1), 1–19.
- Shereena, E., Gupta, R., Bennett, C., Sagar, K., & Rajeswaran, J. (2019). Eeg neurofeedback training in children with attention deficit/hyperactivity disorder: a cognitive and behavioral outcome study. *Clinical EEG and Neuroscience*,50(4), 242–255.

- Shojaee, A., Kim, H. W., Cook-Chennault, K., & Alarcón, I. V. (2021). What you see is what you get?—relating eye-tracking metrics to students' attention to game elements. In: 2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), pp. 1–6. IEEE
- Srivastava, N., Nawaz, S., Newn, J., Lodge, J., Velloso, E., M. Erfani, S., Gasevic, D., & Bailey, J. (2021). Are you with me? measurement of learners' video-watching attention with eye tracking. In: LAK21: 11th International Learning Analytics and Knowledge Conference, pp. 88–98
- Sutarno, H., Aisyah, N., et al. (2018). The development of interactive multimedia based on auditory, intellectually, repetition in repetition algorithm learning to increase learning outcome. In: Journal Of Physics: Conference Series, vol. 1013, p. 012102. IOP Publishing
- Tandle, A. L., Joshi, M. S., Dharmadhikari, A. S., & Jaiswal, S. V. (2018). Mental state and emotion detection from musically stimulated eeg. *Brain informatics*, 5(2), 1–13.
- Tikadar, S., & Bhattacharya, S. (2021). Detection of affective states of the students in a blended learning environment comprising of smartphones. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(10), 963–980.
- Torres, J., Strong, Z. H., & Adesope, O. O. (2020). Reflection through assessment: A systematic narrative review of teacher feedback and student self-perception. *Studies in Educational Evaluation*, 64, 100814.
- Tsai, M.-J., Hou, H.-T., Lai, M.-L., Liu, W.-Y., & Yang, F.-Y. (2012). Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. *Computers & Education*, 58(1), 375–385.
- Udayana, I. P. A. E. D., Sudarma, M., Putra, I. K. G. D., & Sukarsa, I. M. (2021). Eeg study of dasa aksara yoga and improved focus on distance learning student. In: 2021 International Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), pp. 47–51. IEEE
- Umezawa, K., Saito, T., Ishida, T., Nakazawa, M., & Hirasawa, S. (2020). Learning-state-estimation method using browsing history and electroencephalogram during programming language learning and its evaluation. In: International Workshop on Higher Education Learning Methodologies and Technologies Online, pp. 40–55. Springer
- VandenPlas, J. R., Herrington, D. G., Shrode, A. D., & Sweeder, R. D. (2021). Use of simulations and screencasts to increase student understanding of energy concepts in bonding. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 730–744.
- Wang, J., Antonenko, P., & Dawson, K. (2020). Does visual attention to the instructor in online video affect learning and learner perceptions? an eye-tracking analysis. *Computers & Education*, 146,.

- Wang, Y., Kotha, A., Hong, P.-H., & Qiu, M. (2020). Automated student engagement monitoring and evaluation during learning in the wild. In: 2020 7th IEEE International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)/2020 6th IEEE International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud (EdgeCom), pp. 270–275. IEEE
- Wanner, T., & Palmer, E. (2018). Formative self-and peer assessment for improved student learning: the crucial factors of design, teacher participation and feedback. *Assessment & Evaluation in Higher Education*,43(7), 1032–1047.
- Watling, C. J., & Ginsburg, S. (2019). Assessment, feedback and the alchemy of learning. *Medical Education*,53(1), 76–85.
- Webb, S. (2007). The effects of repetition on vocabulary knowledge. *Applied Linguistics*, 28(1), 46–65.
- Winne, P. H., & Nesbit, J. C. (2010). The psychology of academic achievement. *Annual Review of Psychology*,61, 653–678.
- Yang, K.-H., & Lu, B.-C. (2021). Towards the successful game-based learning: Detection and feedback to misconceptions is the key. *Computers & Education*,160, 104033.
- Yang, J., Zhang, Y., Pi, Z., & Xie, Y. (2021). Students' achievement motivation moderates the effects of interpolated pre-questions on attention and learning from video lectures. *Learning and Individual Differences*,91, 102055.
- Yaomanee, K., Pan-ngum, S., & Ayuthaya, P. I. N. (2012). Brain signal detection methodology for attention training using minimal eeg channels. In: 2012 Tenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering, pp. 84–89. IEEE
- Yuhanna, I., Alexander, A., & Kachik, A. (2020). Advantages and disadvantages of online learning. *Journal Educational Verkenning*,1(2), 13–19.
- Zhai, X., Chu, X., Meng, N., Wang, M., Spector, M., Tsai, C.-C., & Liu, H. (2022). The effect of multi-mode stimuli of feedforward and eye tracking on metacognition-an exploratory study using digital dictionaries. *Educational Technology & Society*,25(1), 213–227.
- Zhang, X. (2021). Using eye tracking to analyze the effects of spatial contiguity in mooc video subtitles. In: *International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 336–354. Springer