



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی کامپیوتر
گروه هوش مصنوعی و رباتیکز

سمینار کارشناسی ارشد با عنوان

بررسی معیارهای فیزیولوژیکی چشمی و مغزی

در سنجش بار شناختی در فرآیند یادگیری

چند رسانه‌ای از طریق فیلم آموزشی

استاد راهنما

دکتر رضا ابراهیم‌پور

پژوهشگر

امیر حسین اسعدی

بهار ۱۳۹۹

فهرست مطالب

ب	فهرست مطالب
ج	فهرست جداول
چ	فهرست تصاویر
۲	۱ مقدمه
۳	۲ اصول طراحی چندرسانه‌ای آموزشی
۳	۱.۲ اصل انسجام
۳	۲.۲ اصل نشانه گذاری
۴	۳.۲ اصل افزونگی
۶	۴.۲ اصل مجاورت مکانی
۷	۵.۲ اصل مجاورت زمانی
۸	۶.۲ سایر اصول طراحی چندرسانه‌ای آموزشی
۸	۱.۶.۲ اصل قطعه‌بندی
۸	۲.۶.۲ اصل پیش‌آموزش
۹	۳.۶.۲ اصل کیفیت
۹	۴.۶.۲ اصل چندرسانه‌ای
۹	۵.۶.۲ اصل شخصی‌سازی
۹	۶.۶.۲ اصل صدا

۷.۶.۲ اصل تصویر ۹

۳ بار شناختی و معیارهای اندازه‌گیری ۱۰

۱.۳ مقدمه ۱۰

۲.۳ نظریه‌ی بار شناختی ۱۱

۱.۲.۳ انواع بار شناختی ۱۳

۲.۲.۳ سطوح مختلف بار شناختی ۱۳

۳.۳ معیارهای سنجش بار شناختی ۱۵

۱.۳.۳ کاربردهای سنجش بار شناختی ۱۵

۲.۳.۳ معیارهای غیرمستقیم سنجش بار شناختی ۱۶

۳.۳.۳ معیارهای خودآنگارانه سنجش بار شناختی ۱۷

۴.۳.۳ معیارهای کارآیی ۱۹

۵.۳.۳ سنجش بار شناختی از طریق یک کار ثانویه ۲۲

۶.۳.۳ سنجش فیزیولوژیکی بار شناختی ۲۵

۷.۳.۳ سنجش انواع مختلف بار شناختی ۲۷

۴ معیارهای داده‌های چشمی و مغزی و ویژگی‌های آنها ۳۴

۱.۴ مقدمه ۳۴

۲.۴ پیشینه پژوهش‌های استفاده از ردیابی چشم ۳۵

۳.۴ مزیت‌ها و محدودیت‌های اندازه‌گیری بار شناختی با استفاده از ردیاب چشمی . . . ۳۷

۴.۴ دستگاه ردیاب چشمی ۳۸

۵.۴ معیارهای رهگیری چشم ۴۰

۴۱	تثبیت چشم	۱.۵.۴
۴۱	پرش چشم	۲.۵.۴
۴۲	گشادی قطر مردمک	۳.۵.۴
۴۳	پلک زدن	۴.۵.۴
۴۴	ریزپرش چشم	۵.۵.۴
۴۴	دنبال کردن روان	۶.۵.۴
۴۴	معیارهای سیگنال مغزی	۶.۴
۴۵	باندهای مختلف سیگنال مغزی	۱.۶.۴
۴۷	استفاده از تغییرات، بجای قدرت سیگنال	۲.۶.۴
۴۸	مزایا و معایب استفاده از سیگنالهای مغزی	۷.۴
۴۸	ثبت سیگنال مغزی	۸.۴

۵ پردازش و موارد مطالعه داده‌های چشمی و مغزی در اندازه‌گیری بارشناختی ۵۲

۵۲	صاف کردن و حذف نویز از داده‌های سیگنال مغزی	۱.۵
۵۳	روش‌های استخراج ویژگی از داده‌های سیگنال مغزی	۲.۵
۵۳	تبدیل فوریه سریع	۱.۲.۵
۵۵	تبدیل موجک گسسته	۲.۲.۵
۵۷	مقایسه روش‌های استخراج ویژگی	۳.۲.۵
۵۷	موارد مطالعه‌ی استفاده از داده‌های مغزی در سنجش بارشناختی	۳.۵
۶۰	موارد مطالعه‌ی استفاده از داده‌های چشمی در سنجش بارشناختی	۴.۵

۶ نتیجه‌گیری ۶۳

فهرست جداول

۱	مزایا و معایب داده‌های چشمی	۴۰
۲	نمادهای استفاده شده در استاندارد ۱۰-۲۰ التروانسفالوگرافی	۴۹
۳	مقایسه تبدیل فوریه و موجک	۵۷

فهرست تصاویر

۱	مثال اصل انسجام	۴
۲	مثال اصل نشانه گذاری	۵
۳	مثال اصل افزونگی	۶
۴	مثال اصل مجاورت مکانی	۷
۵	تصویر مدل حافظه	۱۱
۶	مدل الگوی شناختی یادگیری	۱۳
۷	سطوح مختلف بار شناختی	۱۴
۸	بازنمایی گرافیکی کارآیی	۲۱
۹	پرسش نامه‌ی شاخص بار کاری ناسا	۳۱
۱۰	پرسش نامه‌ی ترافیک هوایی	۳۳
۱۱	نمودار درختی روش‌های اندازه‌گیری بارشناختی	۳۶
۱۲	ابزارهای مختلف ردیابی چشم	۳۹
۱۳	آزمایش دنبال کردن روان یک شیء	۴۵
۱۴	باندهای امواج مغزی	۴۶
۱۵	اجزا دستگاه ثبت سیگنال مغزی	۴۹
۱۶	کلاه ثبت سیگنال مغزی	۵۰
۱۷	لوب‌های مغز و استاندارد ۱۰-۲۰	۵۱
۱۸	نویز پلک زدن	۵۲
۱۹	تبدیل فوریه	۵۴

۵۶	تبدیل موجک	۲۰
۶۲	نمونه‌ای از سیستم حسگرهای فیزیولوژیکی	۲۱
۶۳	نمودار درختی داده‌های چشمی	۲۲
۶۴	میزان استفاده از داده‌های چشمی	۲۳

چکیده

در عصر دیجیتال با پیشرفت فناوری، روش‌های آموزش و یادگیری نیز دچار تغییر شده‌اند، استفاده از ارائه‌های چندرسانه‌ای یکی از این تحولات است. ساختن این آموزش‌های چند رسانه‌ای اگر بدون اصول باشد نه تنها کمکی به یادگیرنده نمی‌کند بلکه می‌تواند فشار ذهنی بیشتری برای وی ایجاد کند. بار شناختی باری است که بر روی حافظه‌ی فعال و در طول یک فرآیند شناختی توسط محرک شناختی ایجاد می‌شود. هرچقدر که بار شناختی کمتر و در مقابل عملکرد دانش‌آموز پس از یادگیری بالاتر باشد، نشان‌دهنده‌ی فرآیند یادگیری مناسب است.

از این رو اگر بتوان بار شناختی و عملکرد را در حین آموزش و یا آزمون اندازه‌گیری کرد می‌توان میزان کیفیت ارائه‌های چندرسانه‌ای را به صورت غیرمستقیم سنجید. به عنوان مثال دو فرد را در نظر بگیرید که در یک آزمون عملکرد مشابه‌ای داشته باشند، در این حالت یادگیری‌ای مؤثر بوده که بار شناختی کمتری ایجاد کرده باشد.

روش‌ها و دسته‌بندی‌های گوناگونی برای سنجش بار شناختی وجود دارد در این مطالعه به طور خاص سنجش بار شناختی با داده‌هایی که از چشم و مغز گرفته می‌شوند مورد بررسی قرار گرفته و سایر روش‌ها به صورت کلی‌تر بحث شده است.

۱ مقدمه

امروزه با توسعه فناوری اطلاعات و ابزارهای نوین یادگیری و کاهش سهم آموزش رسمی در میان دانش‌آموزان و دانشجویان اهمیت نقش یادگیرنده و ابزارهای یادگیری مشخص می‌شود. یکی از ابزارهای نوین چندرسانه‌ای و فیلم‌های آموزشی است. کاهش فشار ذهنی یادگیرنده جزء اولویت‌های اصلی طراح چندرسانه‌ای آموزشی است. فشار ذهنی می‌تواند از خود موضوع، رسانه انتقال و یا حاصل پردازش‌های شناختی یادگیرنده باشد.

سنجش میزان بارشناختی ایجاد شده در یادگیرنده این امکان را می‌دهد تا بتوانیم با چیدمان و طراحی مناسب چندرسانه‌ای، کاهش بارشناختی یادگیرنده را مدیریت کنیم. با ابزارهای مختلفی میتوان بارشناختی را سنجید که هریک مزایا و معایب خاص خود را دارد. در این پژوهش سعی شده است به طور خاص سنجش بار شناختی به وسیله داده‌هایی مختلفی که از چشم کاربر گرفته می‌شود مورد بررسی و مرور قرار گیرد.

ساختار گزارش پیش‌رو با این شرح است در بخش ۲ به اصول طراحی چندرسانه‌ای پرداخته می‌شود، این اصول با آزمایش‌های تجربی نشان داده شده است که سبب کاهش میزان بارشناختی می‌شود. در بخش ۳ مفهوم بارشناختی و حافظه فعال ارائه می‌شود و سپس روش‌های متداول اندازه‌گیری بارشناختی معرفی خواهد شد. در بخش ۴ به طور ویژه به سنجش بارشناختی به وسیله داده‌های چشمی و مغزی پرداخته می‌شود. و در بخش ۵ به نحوه پردازش داده‌ها و همچنین موارد مطالعه هریک پژوهش‌های مرتبط با داده‌های چشمی و مغزی در سنجش بار شناختی بررسی خواهد شد. در نهایت در بخش ۶ به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی آنچه در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته خواهیم پرداخت.

۲ اصول طراحی چندرسانه‌ای آموزشی

۱.۲ اصل انسجام

یادگیری افراد هنگامی که محتوای فرعی حذف شود افزایش می‌یابد نسبت به زمانی که این محتوا وجود داشته باشد، این اصل را می‌توان به سه بیان دیگر عنوان نمود: (۱) یادگیری هنگامی که تصاویر و کلمات نامربوط هرچند جذاب حذف شوند، افزایش پیدا می‌کند. (۲) یادگیری هنگامی که صداها و موسیقی نامربوط هرچند جذاب حذف شوند، افزایش پیدا می‌کند. (۳) یادگیری هنگامی که کلمه‌ها و نماد‌های غیرضروری از آن حذف شود افزایش پیدا می‌کند.

مثال گروه روایت مختصر: فرد یادگیرنده روایت مختصری از پویانمایی را می‌بیند. گروه روایت اضافی: فرد یادگیرنده همان درس را با فیلم‌ها، موسیقی، جزئیات، اطلاعات نامربوط و تصاویر می‌بیند. در تصویر ۱ می‌توانید نمونه‌ای از آن را ببینید.

محتوای اضافه می‌تواند منابع شناختی فرد یادگیرنده را مورد استفاده قرار دهد در نتیجه منابع کمتری به محتوای اصلی خواهد رسید، از این رو توجه فرد کمتر خواهد شد و فرایند یادگیری او دچار اختلال می‌شود. این اصل به ویژه زمانی نقش کلیدی پیدا می‌کند که ظرفیت حافظه کاری و دانش اش کمتر باشد. روی دیگر حالتی است که فرد در زمینه مورد یادگیری با تجربه باشد، در این حالت ممکن است این اصل صدق نکند و مؤثر نباشد، به بیان دیگر اضافه کردن جزئیات آموزش برای افرادی که تازه موضوعی را یاد می‌گیرند مناسب نباشد ولی به یادگیری افراد با تجربه کمک کند. با رعایت این اصل و حذف محتوای غیرضروری به مفید و مختصر شدن محتوای آموزشی کمک خواهد شد. [۱] این اصل در ۲۲ آزمایش از ۲۳ آزمایش تجربی تایید شده است. به طور مثال در یک آزمایش دو محتوای چند رسانه‌ای در رابطه با نحوه پخش ویروس‌ها تهیه شده بود، اولی با محتوای فرعی (جملاتی که حقایق جالب ولی بدون ارتباط به ویروس‌ها را بیان می‌کرد) و دیگری تنها اصل متحوی نتایج نشان داد گروهی که محتوای دوم را دیده بودند عملکرد بهتری نسبت به گروه اول داشتند. [۲]

۲.۲ اصل نشانه گذاری

هنگامی که ساختار محتوای اصلی یک چندرسانه‌ای نشانه گذاری شده باشد افراد بهتر یاد می‌گیرند. همچنین نشانی گذاری می‌تواند در محتواهایی که دارای عناصر فرعی هستند و یا هنگامی که فرد توانایی خواندن بالایی ندارد کمک کننده باشد. منتقدان این اصل می‌گویند نشانه گذاری محتوایی



شکل ۱: مطابق اصل انسجام تمامی موارد اضافی را حذف کنید و از تصاویر و کلمات ساده که مستقیماً در ارتباط با آموزش است استفاده کنید که به یادگیری فرد کمک کند [۳]

به چندرسانه‌ای اضافه نمی‌کند و موجب افزونگی می‌شود از این رو فرایند یادگیری را مختل می‌کند.

می‌توان نشانه گذاری را به دو بخش تقسیم نمود:

۱. نشانه گذاری دیداری مثل کم رنگ کردن بخشی از محتوا، رنگ‌های متمایز، چشمک زدن، جهت نماها و حرکات اشاره گر

۲. نشانه گذاری کلامی مثل تاکید آوایی، کلمات اشاره گر، سرفصل‌ها و طرح کلی

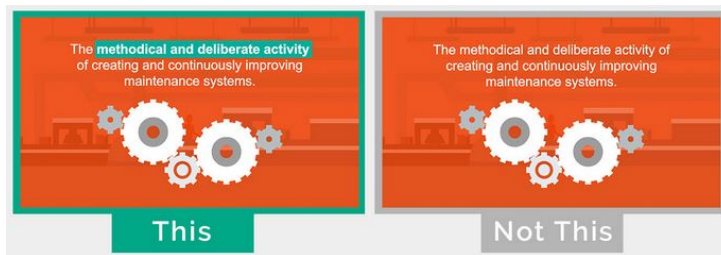
از دیگر مزیت های نشانه گذاری هنگامی است که محتوای چندرسانه‌ای دارای بار فرعی باشد، نشانه گذاری با جلب توجه یادگیرنده به محتوای اصلی سبب خواهد شد تا فرایند یادگیری دچار اختلال نشود.

مثال در یک پویانمایی که سیارات منظومه شمسی را نشان می‌دهد نشانه گذاری، شامل افزودن نام سیارات و تاکید کلامی برای آنها می‌باشد.

این اصل توسط ۲۵ آزمایش از ۲۹ آزمایش تجربی تایید شده است. مایر در تحقیق‌های خود شواهدی بر اثر بخش تر بودن نشانه گذاری دیداری نسبت نشانه گذاری کلامی مشاهده کرد همچنین برخی مشاهده‌ها نشان می‌دهند استفاده بیش از حد از نشانه گذاری سبب زیان دیدن فرایند یادگیری خواهد شد. در تصویر ۲ می‌توانید مثالی از این اصل ببینید.

۳.۲ اصل افزونگی

افراد از گرافیک و روایت نسبت به گرافیک، روایت و متن چاپ شده بهتر یاد می‌گیرند.
مثال گروه دارای افزونگی: به افراد فیلمی از نحوه تشکیل رعد و برق نشان داده می‌شود هم‌زمان



شکل ۲: به یادگیرنده دقیقاً نشان دهید چه چیزی مهم است. با قرار دادن فلش و یا برجسته کردن می‌توانید نکات و لغات مهم را نشان دهید

همان متن روایت شده زیر نویس می‌شود.

گروه بدون افزونگی: به این گروه همان فیلم ولی بدون زیر نویس نشان داده می‌شود. در تصویر ۳ می‌توانید مثال این اصل را ببینید.

افزونگی باعث ایجاد پردازش فرعی می‌شود، زیرا کانال بصری زمانی که باید به محتوای اصلی توجه کند دچار سربار می‌شود همچنین، یادگیرندگان برای مقایسه روایت و متن نمایش داده شده تلاش ذهنی دارند. با این حال اگر (الف) متن نمایش داده شده محدود به لغات کمی باشد و پس روایت نمایش داده شود (ب) بجای همزمان بودن روایت و نمایش متن، متن پیش از روایت نمایش داده شود. (ج) بخش‌های کلامی کوتاه شوند و گرافیک به کار نرود، در هر یک از این سه مورد بار فرعی کاهش پیدا می‌کند.

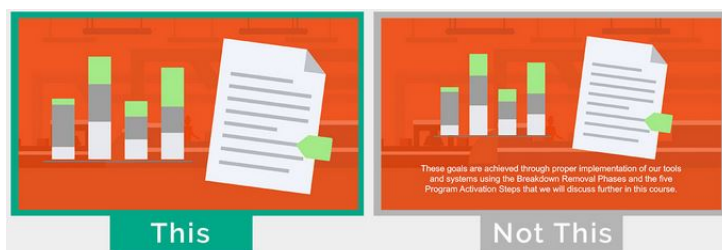
فرضیه‌ای وجود دارد که می‌گوید: افراد متفاوت از راه‌های متفاوت یاد می‌گیرند، پس بهترین راه این است که اطلاعات را در قالب‌های مختلف زیادی ارائه کنیم. به این فرضیه ترجیحات یادگیری^۱ گویند. به عنوان مثال محتوایی ایجاد کرد که هم دارای روایت و هم متن باشد، حال دانش‌آموزی که ترجیح می‌دهد با صدای کلمات یاد بگیرد، می‌تواند به روایت توجه کند و دیگری که ترجیح می‌دهد کلمات نوشته شده را بخواند می‌تواند به متن نمایش داده شده توجه کند. با این روش آموزگاران می‌توانند سبک یادگیری^۲ هر دانش‌آموز را پوشش دهند.

هنگامی که پویانمایی و متن روی صفحه همزمان باشند، حافظه کاری دچار سربار می‌شود که نشان می‌دهد اصل افزونگی با فرضیه محدودیت ظرفیت سازگار است. برخی پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهند که هنگامی که پویانمایی با سرعت بالا نمایش داده می‌شود بهتر است که متن نمایش داده شده دقیقاً همان متن روایت شده نباشد بهتر است. راهکارهای مفید می‌تواند شامل این موارد باشد:

¹Learning preferences hypothesis

²Learning Style

نوشتن نکات کلیدی بر روی تخته، نوشتن متن های شامل اصطلاح های فنی و ناآشنا و یا هنگامی متن کتاب طولانی و پیچیده باشد.



شکل ۳: هنگامی که یک روایت همراه با گفتار پخش می شود تنها از تصاویر استفاده کنید نه از تصویر و متن این اجازه را به کاربر بدهید تا به صورت دلخواه بتواند متن زیر نویس را فعال و یا غیرفعال کند

۴.۲ اصل مجاورت مکانی

اصل مجاورت مکانی^۳ می گوید: اگر تصاویر و کلمات مربوط به هم به یکدیگر نزدیک باشند دانش آموزان بهتر یاد می گیرند تا حالتی که از هم دور باشند.

مثال در پویانمایی ای که نحوه شکل گیری رعد و برق را نمایش می دهد کلمات در پایین صفحه نمایش داده می شوند، (پویا نمایی جدا از هم) و یا اینکه کلمات در کنار رویدادی که دراند توضیح می دهند قرار بگیرند. (پویا نمایی نزدیک به هم)، البته همین مثال را می توان برای جزوه هم در نظر گرفت که کلمات نزدیک به تصویر باشند و یا دور از آن. در تصویر ۴ مثالی از این اصل را می بینید.

در حالتی که کلمات به تصویری که توضیح می دهند نزدیک باشند، یادگیرنده منابع شناختی کمتری برای یافتن آنها صرف خواهد نمود. این اصل در مواردی مثل: یادگیرنده با محتوا آشنایی ندارد، نمودارها بدون متن هستند و به طور کامل قابل فهم نیستند و یا زمانی که محتوا پیچیده تر باشد کاربرد بیشتری دارد.

در تمامی ۵ آزمایش گرفته شده از دانش آموزان، گروهی که کلمات و تصاویر متناظر در کنار یکدیگر بوده اند نسبت به گروه دیگر که کلمات و تصاویر متناظر دور از یکدیگر بوده اند عملکرد بهتری داشته اند.

موارد بحثی در این زمینه وجود دارد، مخالفان می گویند، نمایش همزمان متن و تصویر نزدیک به

³Spatial contiguity principle

هم که یک معنا را می‌رسانند سبب ایجاد بار اضافی برای فرد یادگیرنده شده و منابع شناختی او را مصرف می‌کنند، از طرفی از نظر موافقان تطابق میان کلمات و تصاویر سبب صرف منابع شناختی جهت یادگیری فعال خواد بود.

پژوهش‌های آینده می‌تواند حول این موارد باشد، نقش دانش قبلی یادگیرنده و میزان کاهش دادن اثر طراحی ضعیف توسط این دانش، روش‌هایی برای اندازه‌گیری دانش قبلی، تعداد لغات مورد نیاز جهت قرار گرفتن در کنار تصویر و در نهایت این اصل ممکن با اصل کیفیت در تضاد باشد، پس باید پژوهش‌هایی انجام شود تا بفهمیم چه هنگام از متن و چه هنگام از گفتار برای یک تصویر استفاده کنیم.



شکل ۴: تمامی متن‌ها و تصاویر مرتبط در یک قاب را به یکدیگر نزدیک نگهدارید. با اینکار یادگیرندگان ارتباط میان مفاهیم را راحت‌تر در می‌یابند.

۵.۲ اصل مجاورت زمانی

اصل مجاورت زمانی^۴ می‌گوید: هنگامی که تصاویر و کلمات به صورت همزمان نمایش داده شوند، دانش‌آموزان بهتر یاد می‌گیرند تا حالتی که پیوسته نمایش داده شوند.

مثال یادگیرندگان اول پویانمایی‌ای از نحوه شکل‌گیری رعد و برق می‌بینند و سپس می‌شنوند روایت آن را و یا با یک ترتیب دیگر (گروه پیاپی)، و یا یادگیرندگان پویانمایی را می‌بینند و می‌شنوند روایتش را به صورت همزمان (گروه همزمان). (گروه همزمان) یادگیرندگان پویانمایی از نحوه شکل‌گیری رعد و برق می‌بینند، بدین صورت که تصاویر و روایت به صورت همزمان نمایش داده می‌شود. (گروه پیاپی) در این گروه ابتدا نحوه شکل‌گیری رعد و برق را می‌بینند سپس روایت متناظر آن را می‌شنوند و یا برعکس این ترتیب.

هنگامی که روایت و پویانمایی متناظر آن به صورت همزمان ارائه شود، فرد می‌تواند بازنمایی هر دو

⁴Temporal Contiguity Principle

را به صورت همزمان در ذهن خود نگهدارد، و اتصال‌های ذهنی بهتری را بین بازنمایی کلامی و بصری برقرار کند، و بر عکس آن یعنی زمانی که به صورت غیر همزمان ارائه شوند نیز صدق می‌کند. این اصل ممکن است در دو حالت کاربرد کمتری داشته باشد: حالت اول زمانی که ارائه و یا درس مورد نظر فرایند پخش و کنترل آن دست یادگیرنده باشد تا زمانی که دست سیستم باشد و حالت دوم زمانی که پویانمایی شامل بخش‌های کوچک جدا از هم باشد تا زمانی که یک درس طولانی و پیوسته داشته باشیم. زمانی که تصویر و روایت از هم جدا شوند مطابق حس ما که می‌گوید یک مطلب را دوبار ببینیم بهتر یاد می‌گیریم، امکان یادگیری نیز بیشتر می‌شود، در مرحله اول فرد توجه کامل خود را به تصاویر می‌کند و در مرحله بعدی مطالبی که تصاویر آن را دیده به صورت روایت می‌شنود. این تحلیل بر این مبنا است که اگر ما یک محتوا را از دو انتقال، دریافت کنیم شانس بیشتری برای ذخیره سازی در حافظه کاری داریم نسبت به زمانی که تنها یکبار آن را ببینیم.

۶.۲ سایر اصول طراحی چندرسانه‌ای آموزشی

این اصول بر خلاف پنج اصل قبلی که به پیچیدگی رسانه انتقال و طراحی آن به نحوی که این پیچیدگی کاهش پیدا کند به، پیچیدگی ذاتی محتوا و توانایی یادگیرنده در ساخت الگوهای شناختی می‌پردازند از این رو این اصول را به صورت خلاصه بررسی می‌کنیم.

۱.۶.۲ اصل قطعه‌بندی

مطابق اصل قطعه بندی^۵ زمانی که محتوای آموزشی بخش بندی شود و کاربرد بتواند خود را با آن همگام کند بهتر یادگرفته می‌شود تا زمانی که تنها یک فیلم پیوسته داشته باشیم.

۲.۶.۲ اصل پیش‌آموزش

در اصل پیش آموزش^۶ داریم، هنگامی که افراد پیش از آموزش با نام‌ها و مشخصه‌های مفاهیم اصلی آشنا باشند بهتر یاد می‌گیرند.

^۵Segmenting Principle

^۶Pre-training principle

۳.۶.۲ اصل کیفیت

اصل کیفیت ^۷ می‌گوید، در حالتی که محتوا از طریق تصویر و روایت باشد یادگیری عمیق‌تری خواهیم داشت تا زمانی که از طریق تصویر و نوشته‌های چاپی باشد.

۴.۶.۲ اصل چندرسانه‌ای

مطابق اصل چندرسانه‌ای ^۸، هنگامی که یادگیری از کلمات و تصاویر باشد یادگیری بهتری داریم تا زمانی که تنها از طریق کلمات باشد.

۵.۶.۲ اصل شخصی‌سازی

در اصل شخصی‌سازی ^۹ داریم، اگر روایت و گفتار به صورت غیررسمی باشد افراد بهتر یاد می‌گیرند تا زمانی که رسمی باشد.

۶.۶.۲ اصل صدا

اصل صدا ^{۱۰}: افراد از صدای طبیعی بهتر یاد می‌گیرند تا صدای مصنوعی و ماشینی.

۷.۶.۲ اصل تصویر

اصل تصویر ^{۱۱}: ممکن است یادگیری در زمانی که همزمان با روایت، تصویر آموزگار پخش شود دچار اختلال شود.

⁷Modality principle

⁸Multimedia principle

⁹Personalization principle

¹⁰Voice principle

¹¹Image principle

۳ بار شناختی و معیارهای اندازه‌گیری

۱.۳ مقدمه

برای شناخت حافظه می‌توان از دو دید روانشناسی شناختی، و عصب شناسی می‌توان استفاده کرد. در دید عصب شناسی^{۱۲} با اجزا و المان‌های واقعی مغز سروکار داریم ولی در دید روان شناسی شناختی با مدل سازی سر و کار داریم که در تلاش برای شناخت و ذهن است، پس باید به خاطر داشته باشیم در روانشناسی شناختی مدل‌ها مفید هستند نه درست. اتکینسون [۴] مدل حافظه کوتاه مدت و حافظه بلند مدت و حافظه حسی را مطرح کرد. در مدل او حافظه از سه بخش اصلی تشکیل شده است. اطلاعاتی که توسط حواس ما (بویایی، بینایی، شنوایی، لامسه و چشایی) برای مدت بسیار کوتاهی، کمتر از یک ثانیه [۵] ثبت می‌شوند. بسیاری از آنها حذف و بخش که مورد توجه مغز قرار می‌گیرد به حافظه کوتاه مدت منتقل می‌شود، حافظه کوتاه مدت نیز نمی‌تواند برای طولانی مدت آنها را در خود نگه دار مگر مدام آن را تکرار کند.

اینکه چه اطلاعاتی از حافظه حسی به کوتاه مدت منتقل می‌شوند بسته به آن است که به چه چیز متوجه هستیم و منتظر دریافت آنیم. ویژگی مهمی که برای حافظه کوتاه مدت در نظر گرفته می‌شود مفهوم رمزگذاری^{۱۳} است، رمز گذاری به شکل‌های مختلفی انجام می‌شود.

- کد معنایی^{۱۴} هنگامی که یک مفهوم به خاطر سپرده می‌شود.
- کد صوتی^{۱۵} هنگامی که یک مفهوم در قالب آوا و صوت به خاطر سپرده می‌شود.
- کد حرکتی^{۱۶} هنگامی که حرکات بدن به خاطر سپرده می‌شوند.
- کد تصویری^{۱۷} هنگامی که یک مفهوم در قالب تصویر به خاطر سپرده می‌شود.

برای اندازه‌گیری ظرفیت حافظه از واحی به نام بسته اطلاعاتی^{۱۸} استفاده می‌شود. گفته می‌شود ظرفیت حافظه کوتاه مدت بین ۵ تا ۹ واحد اطلاعاتی است، این ظرفیت بین انسان‌ها متفاوت بوده

¹²Neurology

¹³Encoding

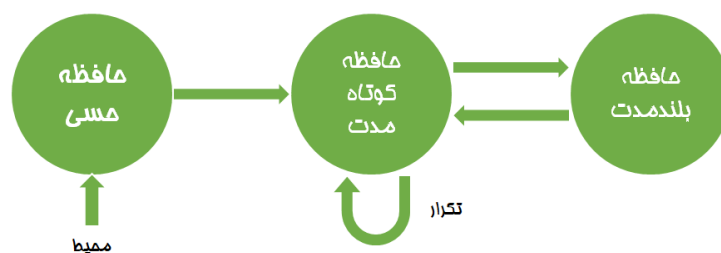
¹⁴Semantic Code

¹⁵Phenological Code

¹⁶Motor Code

¹⁷Visual Code

¹⁸Chunk



شکل ۵: تصویر مدل ارائه شده توسط اتکینسون

جالب آنکه در یک فرد در ساعت‌های مختلف شبانه روز و حالات روحی مختلف متفاوت است. در دو دهه گذشته پیشنهاد شده است حافظه کوتاه مدت را نباید تنها محل ذخیره سازی و بازیابی اطلاعات در نظر گرفت. اگر فرض کنیم علاوه بر اینها در کوتاه مدت نیز می‌تواند با اطلاعات کار کند و آنها را پردازش کند، به مدل واقعی تر نزدیک شده‌ایم. از این رو مفهوم حافظه فعال^{۱۹} مطرح شده است.

در این فصل، ابتدا نظریه‌ی بار شناختی معرفی و در ادامه روش‌های مختلف سنجش بارشناختی در چهار دهه گذشته بیان می‌شود. [۶]

۲.۳ نظریه‌ی بار شناختی

در روانشناسی شناختی، به میزان استفاده از منابع حافظه فعال گفته می‌شود. این نظریه بر مبنای ساختار شناختی انسان، دانش جدیدی درباره مشخصه‌های حافظه فعال، بلند مدت و رابطه بین این دو ارائه می‌کند. [۷] نظریه بارشناختی، سعی دارد چگونگی تاثیر بار ناشی از پردازش اطلاعات بر توانایی یادگیری اطلاعات جدید در حافظه فعال و بلند مدت را توصیف کند.

پیش فرض اصلی این نظریه، محدود بودن حافظه فعال است که سبب محدودیت در توان پردازش شناختی انسان می‌شود. به طوری که تنها اطلاعات محدودی را می‌تواند در هر لحظه پردازش نماید. اگر تقاضای غیر ضروری به سیستم شناختی افزایش یابد سبب افزایش بار شناختی خواهد شد و اگر بار شناختی بیش از حد افزایش یابد سبب عدم انتقال مناسب اطلاعات و یادگیری مطلوب خواهد شد. چنین تفاض‌های غیر ضروری‌ای می‌تواند ناشی از روش‌های نامناسب آموزشی و یا پیچیدگی ذاتی محتوای تدریس شده باشد. از این رو جهت افزایش کیفیت یادگیری بهتر است بار شناختی را به نحوی مدیریت کرد که پردازش بی ارتباط با یادگیری کمینه و پردازش شناختی ذاتی یادگیری

¹⁹Working Memory

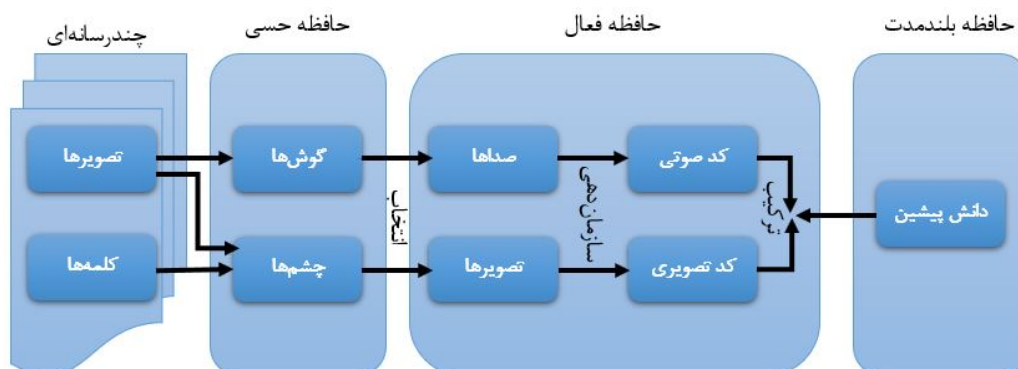
بهینه شود. [۷]

محدودیت حافظه کاری با توجه به اطلاعات جدید هنگام یادگیری یک تنگنا، به حساب می‌آید و تنها 2 ± 7 عنصر اطلاعات می‌تواند در حافظه فعال نگهداری شود، این در حالی است که اگر اطلاعات نیاز به پردازش نیز داشته باشند کمتر نیز خواهد شد.

به عنوان نمونه عناصر وابسته‌ای که باید باهم ترکیب شود را در یادگیری یک برنامه نوشته شده برای اجرای الگوریتم جستجوی دودویی در نظر بگیرید. یادگیری این برنامه به صورت ذاتی بسیار پیچیده تر از دستورات برنامه به صورت جداگانه است. زیرا برنامه به صورت ترکیبی از دستورات برنامه نویسی و چندین واحد اطلاعات است. در حال که دستورها را می‌توان به صورت ترتیبی از اطلاعات منفرد یاد گرفت.

بنابراین هرچه تعداد عناصر اطلاعات در تعامل با یکدیگر، در یک فعالیت بیشتر باشد، آن فعالیت سخت تر بوده و بار ذاتی بیشتری را به حافظه فعال وارد می‌کند. با این حال اطلاعاتی که پیش از این، در حافظه بلند مدت، به شکل الگوی‌های شناختی^{۲۰} ذخیره شده است، می‌تواند بار شناختی را کاهش دهد. زیرا این الگوها می‌توانند به صورت یک واحد اطلاعاتی در حافظه فعال استفاده شود، از این رو داشتن دانش پیشین در رابطه با یک فعالیت، بار شناختی را کاهش می‌دهد. همچنین اگر یک فعالیت و جنبه‌های وابسته به آن به صورت تکراری تمرین شوند، الگوگیری شناختی خودکار شده و دیگر نیاز به پردازش کنترل شده ندارد به همین دلیل منابع بیشتری در حافظه فعال آزاد خواهند بود. [۸] در شکل ۶ الگوی شناختی دستگاه پردازش اطلاعات ذهن انسان در هنگام یادگیری چندرسانه‌ای را مشاهده می‌کنید. کلمه‌ها و تصاویر از دنیای خارج به صورت ارائه چندرسانه‌ای، از طریق گوش‌ها و چشم‌ها وارد حافظه حسی می‌شوند. تصاویر و متن‌های چاپی از طریق حافظه حسی دیداری و کلمات صحبت و دیگر صداها از طریق حافظه حسی شنیداری وارد حافظه‌ی کاری می‌شوند. کار اصلی یادگیری چندرسانه‌ای در حافظه‌ی کاری انجام می‌شود. در این گام، الگوهای کلامی و تصویری (سمت راست) با استفاده از محتواهای خام وارد شده (سمت چپ) ساخته می‌شوند. دانش ساخته شده در حافظه‌ی کاری پس از ادغام با دانش پیشین در حافظه بلندمدت جای می‌گیرد.

²⁰Cognitive schemas



شکل ۶: مدل الگوی شناختی یادگیری چندرسانه‌ای

۱.۲.۳ انواع بار شناختی

بر اساس نظریه بارشناختی، در سه نوع بار شناختی را می‌توان مورد بررسی قرار داد: بار ذاتی^{۲۱}، بار فرعی^{۲۲} و بار وابسته^{۲۳}.

بار ذاتی به پیچیدگی ذاتی محتوای در حال پردازش و نحوه تعامل عناصر اطلاعاتی گفته می‌شود که متناسب با سطح دانش پیشین یادگیرنده از موضوع اعمال می‌شود. به دلیل مشخصه های شناختی انسان، تعیین پیچیدگی اطلاعات پردازش شده دشوار است

بار فرعی بار ذهنی غیر ضروری است که توسط طراحی، نا مناسب شناختی و ارائه نامناسب اطلاعات ایجاد می‌شود.

بار وابسته به عنوان منابع شناختی مورد نیاز برای دست‌کاری بار ذاتی تعریف می‌شود. این نوع بار هنگامی ایجاد می‌شود که ارائه اطلاعات برای یادگیری، مفاهیم جدید و یا ماندگاری آن‌ها در ذهن طراحی شده باشد. [۸]

۲.۲.۳ سطوح مختلف بارشناختی

در تعریفی دیگر می‌توان گفت، بار شناختی را می‌توان اینگونه بیان نمود: باری که در طول یک فرآیند شناختی، بر حافظه فعال توسط محتوای آموزشی تحمیل می‌شود. این بار در سطوح مختلف شامل

²¹intrinsic load

²²extraneous load

²³germane load

بار لحظه‌ای^{۲۴} نشان دهنده تغییرات بار شناختی از نخستین تا آخرین لحظه در طول یک یا چند فعالیت شناختی. این بار شناختی پایه‌ای ترین سطح سنجش بارشناختی است از این رو سایر سطوح بارهای شناختی بر مبنای آن تعریف می‌شود.

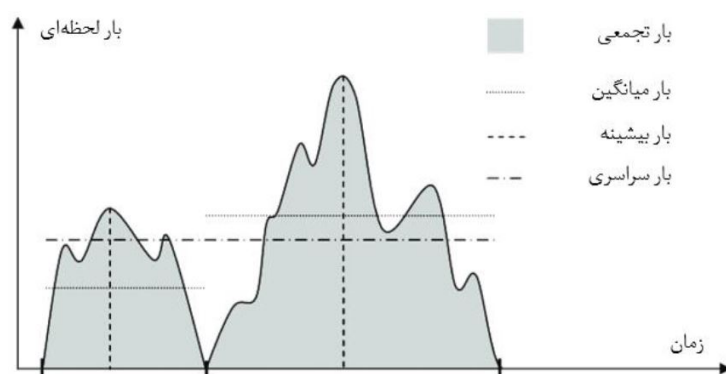
بار بیشینه^{۲۵}، به بیشترین مقدار بار لحظه‌ای در هنگام اجرای یک فعالیت گفته می‌شود. بار بیشینه را می‌توان از طریق مقایسه بزرگی تمامی بارهای لحظه‌ای بدست آورد.

بار میانگین^{۲۶} نمایانگر شدت بار متوسط در طول اجرای یک فعالیت و معادل مقدار میانگین بار لحظه‌ای، یا بار تجمعی در واحد زمان است.

بار تجمعی^{۲۷} مجموع مقدار باری که در طول اجرای یک فعالیت، یادگیرنده تجربه می‌کند.

بار سراسری^{۲۸} باری تجربی که بر پایه‌ی روند فعالیت، اعمال می‌شود. اعتقاد بر این است که بار سراسری نمایانگر دریافت شخص از تلاش ذهنی خود است.

از آنجا که بار شناختی مستقیماً به مدت فعالیت بستگی دارد، هم بار میانگین و هم بار تجمعی برای تخمین اثرات طراحی آموزشی استفاده می‌شود. [۸] در شکل می‌توانید هریک از سطوح بارشناختی را مشاهده نمایید.



شکل ۷: طرحی از سطوح مختلف بار شناختی شامل: تجمعی، میانگین، بیشینه و سراسری.

²⁴Instantaneous load

²⁵Peak load

²⁶Average load

²⁷Accumulated load

²⁸Overall load

۳.۳ معیارهای سنجش بار شناختی

هنگامی که از بار شناختی صحبت می‌کنیم یک سوال مهم راه‌های سنجش و اندازه‌گیری آن است، این مقوله نقش جدی در پژوهش‌های مبتنی بر نظریه‌ی بار شناختی ایفا می‌کند از طرفی کاربردهای که در طراحی آموزش کارآمد دارد سبب اهمیت ویژه آن می‌شود. [۹]

در ادامه روش‌های بیان شده در ادبیات اندازه‌گیری بار شناختی را مرور خواهیم کرد.

۱.۳.۳ کاربردهای سنجش بار شناختی

علاقه به استفاده از فناوری شناختی در عمل بالینی در سالهای اخیر افزایش یافته است. کاربردهای متداول استفاده از آزمایشهای شناختی برای ارزیابی نقص در هنگام بروز اختلال‌هایی در سیستم عصبی مرکزی است. به طور نمونه چند نمونه عنوان مثال ذکر می‌کنیم: آسیب دیدگی سر، اسکیزوفرنی، سوء مصرف طولانی مدت الکل، بیماری آلزایمر و اختلال‌های مرتبط با آن، هستند.

علاوه بر این، از آنجا که مهارت‌های شناختی با زندگی روزمره و فعالیت‌های اجتماعی همراه است، ارزیابی شناختی می‌تواند در غربالگری و پایش بیماران ترخیص‌شده و در ساخت راهکارهای توانبخشی فردی سودمند باشد.

از آنجا که بار شناختی در نتیجه حافظه کاری محدود در حین کار ایجاد می‌شود، اندازه‌گیری بار شناختی بر روی بیماران در آزمایش‌های شناختی می‌تواند بینش‌هایی را برای معالجه بیمار ارائه دهد. به عنوان مثال، بار شناختی زیاد و مدت زمان محرک کوتاه برای ایجاد تمایز برای بیماران اسکیزوفرنی پیدا شد. سایر کاربردها شامل کاهش خطاهای پزشکی به دلیل بار زیاد حافظه پزشکان در اورژانس است. مطالعات نشان داده است که وقفه‌ها (باعث از بین رفتن اطلاعات) و چندکار را هم‌زمان انجام دادن باعث افزایش بار شناختی می‌شود که به خطاهای پزشکی کمک می‌کند. راه حل‌های ارائه شده شامل استفاده از ابزارهای الکترونیکی برای پشتیبانی از روند به صورت تطبیقی در محل کار و ارائه آموزش‌های مؤثر جهت کاهش بار شناختی در محل کار است. تمرکز دیگر بر ارزیابی سیستم‌های اطلاعات بالینی است. رویکردها مبتنی بر مهندسی کردن قابلیت‌ها و موارد استفاده و تجزیه و تحلیل وظیفه شناختی است تا اطمینان حاصل شود که در حالی که کاربران در حال انجام وظایف هستند کمترین بار شناختی در استفاده از چنین سیستم‌هایی مصرف شود.

۲.۳.۳ معیارهای غیرمستقیم سنجش بارشناختی

در نخستین روزهای ارائه نظریه بارشناختی، بارشناختی به صورت مستقیم اندازه گیری نمی شد یکی از اولین روش ها بر اساس نتایج آزمایش ها، ارتباط میان بار شناختی و حل مسئله بود، از این رو چندین روش برای ارزیابی غیر مستقیم بار شناختی مورد استفاده قرار گرفت. [۶]

الگوهای محاسباتی نخستین پژوهش ها تمرکز خود را بر روی ناکارآمدی حل مسئله به عنوان راهبرد یادگیری تمرکز کرده بودند. این گونه فرض می شد که کاوش بر روی مسئله سطح بالا منجر به بار بیشتر بر روی حافظه فعال و تلاش برای حل مسئله سطح پایین منجر به بار حافظه فعال کمتر خواهد شد. [۶]

در یک مجموعه از آزمایش ها، سویلر و همکاران نشان دادند که راهبرد یادگیری که شامل جستجوی قابل توجه در حل یک مسئله است، منجر به یادگیری پایینتری نسبت به مسئله ای که نیازمند جستجوی بالاتری داشت، شده است. سویلر استدلال کرد که برخی از راهبردها منجر به این شد که جستجوی بیشتری برای حل مسئله نیاز باشد و همین امر موجب افزایش بار شناختی فرعی شد. در مقابل فرآیندهایی که جستجو برای حل مسئله را کم می کنند، باعث کاهش بار شناختی شدند. پشتیبانیهای نظری که نشان می دهند جستجو برای حل مسئله، بار شناختی را افزایش می دهد، از طریق الگوهای محاسباتی نشان داده شده است. سویلر متوجه شد که برای ساخت الگوهای جهت مقایسه حالت جستجوی زیاد با حالت جستجوی کم، باید برای الگوهای نیازمند جستجوی زیاد، الگوهای پیچیدهتری طراحی کرد تا نیاز باشد که اطلاعات متناظر بیشتری را در حافظه کاری نگهداری شود. [۱۰] شواهد غیر مستقیم الگوهای محاسباتی، سبب استفاده محدود از آنها شده است. با این در نظریه بار شناختی الگوهای محاسباتی اولین تلاش برای ارائه شواهد بودند و عامل مهمی در ریشه های نظریه ی بار شناختی محسوب می شوند. [۶]

کارایی در طول یادگیری در مطالعه های نخستین اندازه گیری بار شناختی، راه هایی برای اندازه گیری بارشناختی در طول فرایند یادگیری دیده می شود. [۶] روش پیشنهاد شده توسط چندلر و سویلر زمان آموزش را به عنوان ملاکی برای اندازه بار شناختی مطرح کرد. این دو محقق بر این باور بودند که اگر دانش آموزش در یک فرایند یادگیری که بار شناختی آن به مرور افزایش پیدا می کند شرکت کند، این افزایش بار شناختی، بر عملکردش در هنگام یادگیری نیز تاثیر می گذارد. نتیجه آن را می توان در هر دو عملکرد پایانی و طول فرایند یادگیری مشاهده نمود. [۱۱] شواهدی دیگر

نشان دادند با افزایش بارشناختی، نرخ خطا بالا رفته که سبب کاهش دقت و افزایش زمان یادگیری می‌شود.

خطاهای نمایه بین مسئله‌ها نرخ خطا نیز برای اندازه‌گیری بارشناختی و به طور خاص شناسایی تفاوت‌های شناختی مسئله‌ها مورد بررسی قرار گرفت. آیریس و سویلر مشاهده کردند، دانش‌آموزان در حل مسائل هندسه در برخی مرحله‌ها به دلیل دشوار شدن مسئله و در نتیجه آن درگیر و پر شدن حافظة فعال دچار خطا می‌شوند. [۱۲] در دسته‌ای دیگر از مطالعه‌های آیریس نشان داد، در حین یک تکلیف ریاضی که نیازمند محاسبه‌های پشت سر هم بود، نرخ خطا متفاوت است. نرخ خطای بالا در دو حالت رخ می‌داد: اول آنکه شدت نیاز به تصمیم‌گیری افزایش پیدا کند و دوم آنکه تعداد متغیرهای مورد نیاز افزایش پیدا کند. [۱۳] این نقد وجود دارد که این دو مطالعه بر روی حل مسئله‌های ریاضی بررسی شده است و نه فرآیند یادگیری، با این حال با استفاده از شواهد نشان دادند، نرخ خطا با نیازمندی‌های حافظة فعال در ارتباط است.

۳.۳.۳ معیارهای خودانگارانه سنجش بارشناختی

در گذشته، برای پیش‌بینی کارایی و اثر بخشی آموزش از از ملاحظه‌های نظری استفاده می‌شد که عمدتاً شامل معیارهای غیر مستقیم همانند زمان و نرخ خطا در یادگیری بودند. با توسعه نظریه بار شناختی و اثرهای آموزشی نیاز به معیارهای مستقیم بیشتری برای بار شناختی آشکار شد. پاس با معرفی روش اندازه‌گیری خودانگارانه بار شناختی دست آورد مهمی به بار آورد.

معیارهای خودانگارانه برای سنجش تلاش ذهنی پاس بیان کرد دانش‌آموزان خود می‌توانند بر اساس تلاش ذهنی صرف شده شان در طول فرآیند یادگیری و آزمون تلاش ذهنی خود را اندازه‌گیری کنند، و این امتیاز می‌تواند شاخصی برای بار شناختی در نظر گرفته شود. این برداشت بر اساس ابزاری بود که پیش از این خود پاس آن را توسعه داده بود. [۱۴] تلاش ذهنی این گونه تعریف می‌شود:

تلاش ذهنی جنبه‌ای از بار شناختی که به ظرفیت شناختی اختصاص داده شده به تقاضای مورد نیاز تکلیف، اشاره می‌کند و می‌تواند بازتابی برای بار شناختی واقعی در نظر گرفته شود.

مقیاس ۹ نقطه‌ای لیکرت ^{۲۹} این مقیاس در بازه عدد یک تا نه قرار دارد، یک معادل خیلی خیلی کم و نه معادل خیلی خیلی زیاد برای تلاش ذهنی است، از این مقیاس می‌توان در حین یادگیری و یا آزمون استفاده نمود. در مقایسه با روش های آموزشی که در آنها سعی در افزایش و یا کاهش بار شناختی می‌شد، پاس انطباقی بین امتیازدهی شخصی تلاش ذهنی و عملکرد آزمون پیدا کرد. به دو گروه از دانش آموزان دو دسته سوال متفاوت داده شد دسته اول سوال های سخت و پیچیده تر و دسته دوم سوال های ساده تر، مشاهده شد که به گروهی که سوال های سخت تر داده شده بود، خود تلاش ذهنی بیشتری گزارش کرده بودند و از طرفی عملکرد آنها نسبت به دسته دیگر کمتر بود. [۱۴]

در آزمایشی دیگر از پاس و ون مرینبور با جمع آوری و تجزیه و تحلیل طیفی ضربان قلب به بررسی معیار های فیزیولوژیکی پرداختند. معیار های فیزیولوژیکی تنها قادر به تشخیص تفاوت بین دوره های فعال و غیر فعال ذهنی بود، و نمی توانست میان گروه های رفتاری تمایزی پیدا کند. از طرفی دیگر امتیازدهی های خود انگارانه، بسیار حساس تر و موثر تر بار شناختی را می سنجیدند، مقیاس ۹ نقطه ای لیکرت نیز بسیار قابل اعتماد بود.

معیار خودانگارانه برای سنجش دشواری سایر پژوهشگران با مشاهده موفقیت معیارهای خودانگارانه، این مقیاس خود انگارانه را به عنوان معیاری برای اندازه گیری بار شناختی پذیرفتند. به عنوان مثال در یک مجموعه از آزمایش ها، مشاهده شده است که میزان دشواری با اندازه گیری های خود انگارانه به طرز قابل توجی تطابق دارد. [۱۵] می توان گفت سادگی و حساس بودن مناسب مقیاس امتیازدهی این روش را مورد توجه پژوهشگران قرار داده است.

گوناهگونی در امتیازدهی های خودانگارانه ون گوک و پاس با استفاده از پژوهش هایی بیان کردند که کلمه تلاش ذهنی و دشواری ذهنی در پرسشنامه خودانگارانه ممکن است نتایج متفاوتی را در بر داشته باشد. باید دقت کنیم پرسیدن تلاش ذهنی از یک دانش آموز و میزان تلاش صرف شده توسط وی متفاوت است، البته اغلب این دو معیار با یکدیگر همبستگی نیز دارند، گاه نیز با یکدیگر تطابق ندارند. به طور نمونه، مسئله های بسیار دشوار ممکن است از دید بعضی از دانش آموزان به نحوی باشد که قادر به پاسخگویی آن نباشند، و در نتیجه آن هیچگونه تلاشی را انجام ندهند. [۱۶]

پاس و ون مرینبور اندازه گیری تلاش ذهنی را پس از مرحله ی یادگیری و حل مسئله، ثبت کردند.

²⁹9-point Likert Scale

به علاوه بسیار از پژوهشگران داده ها را بعد از اتمام دوره‌ی آموزش جمع آوری می‌کنند. دو راهبرد، لزوماً، قابل مقایسه نیستند و ممکن است نتایج مختلفی به دست آورند. بعضی از این اختلاف‌ها در هنگام بحث در مورد اقدامات کارآیی در نظر گرفته نمی‌شود. [۱۷]

پایداری در معیارهای خود انگارانه روش های اندازه گیری خودانگارانه شامل تلاش ذهنی و یا دشواری ذهنی در عین گوناگونی و تفاوت بسیار امید بخش بوده‌اند، از این جهت که به طرز شگفت انگیزی با داده های عملکردی پیش‌بینی شده توسط نظریه‌ی بار شناختی کمترین تناقض، سازگار و مطابق بوده است. با این حال در برخی مطالعه‌ها، تفاوت های قابل ملاحظه‌ای میان اندازه گیری های خود انگارانه و آزمون عملکرد مشاهده شده است. [۶]

همچنین مطالعه‌هایی وجود دارد که در آن تفاوت بار شناختی بر اساس معیارهای خودانگارانه وجود دارد اما هیچ اثری از گروه‌های رفتاری بر روی آزمونهای عملکرد وجود ندارد. کالینگا، چندلر و سویلر در هر یک از سه آزمایش نتایج متفاوتی را به دست آوردند: تفاوت در بار شناختی بدون اثر آزمون؛ تفاوت در بار شناختی و اثر آزمون متناظر؛ بدون تفاوت بار شناختی اما با اثر آزمون. این امکان وجود دارد که تحت شرایط و مواد آموزشی خاصی، هیچ گونه تطابقی رخ ندهد. البته با در نظر گرفتن هرگونه اثر آماری تعیین شده، ناگزیر، تطابق با شکست روبرو خواهد شد. همبستگی بین مقیاس امتیازدهی خودانگارانه و آزمون عملکرد نمی‌تواند کامل باشد. با وجود ناسازگاری گاه به گاه، معیارهای خودانگارانه تاکنون نفوذ عمیقی داشته و یک ابزار مفید برای ارائی شواهد در پشتیبانی از نظریه‌ی بار شناختی فراهم آورده است. [۱۸]

۴.۳.۳ معیارهای کارآیی

پاس و ون‌مرینبور معتقد بودند در نظر گرفتن هزینه‌های شناختی یادگیری مهم است، از این رو بر اساس مقیاس خود انگارانه، یک معیار کارآیی که تلاش ذهنی و شاخص‌های عملکرد را در می‌گرفت توسعه دادند. نکته مهم این است که با وجود اینکه ممکن است دو روش آموزش متفاوت از یکدیگر باشند و نتایج یادگیری مشابهی داشته باشند، اما تلاش برای رسیدن به این سطوح عملکرد نیز مهم است. اگر دو راهبرد آموزشی متفاوت منجر به عملکرد یکسان شوند، راهبردی کارآمدتر است که منابع شناختی کمتری صرف آن شده باشد، کارایی (E) را میتوان از رابطه زیر محاسبه

نمود:

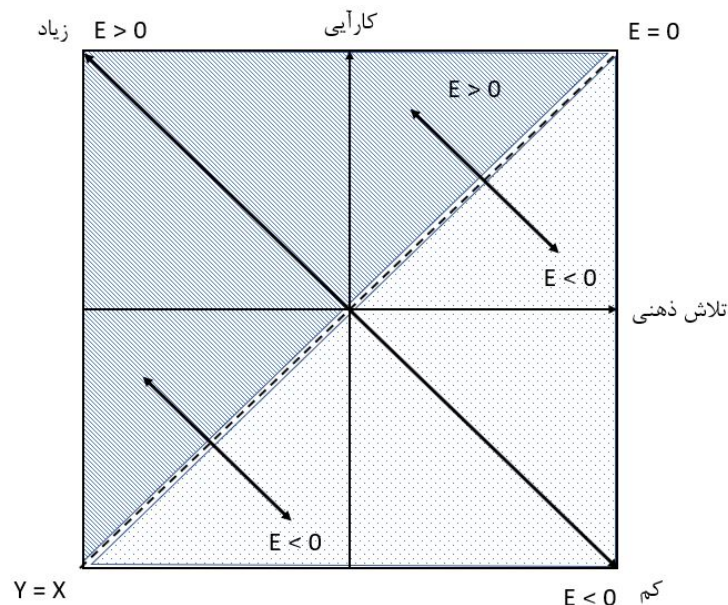
$$E = \frac{(Z_{Ptest} - Z_{PEtest})}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

همان گونه که در رابطه (۱) مشاهده می‌کنید، Z_{Ptest} بازنمایی نرمال شده با میانگین صفر^{۳۰} نمره‌های آزمون و Z_{Etest} نرمال شده با میانگین صفر نمره‌های تلاش ذهنی است که پس از دوره‌ی آزمون جمع‌آوری شده‌اند. این رابطه بر مبنای محاسبه‌ی فاصله عمود از یک نقطه به یک خط راست تعریف شده است. همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، z-score اگر تلاش و کارایی یکسان باشد مقدار E صفر خواهد بود و تمامی نقاطی که روی این خط قرار دارند نیز معادل با $E = 0$ هستند، از طرفی تمامی نقاطی که بالای آن قرار می‌گیرند کارایی آنها مثبت بوده و یادگیری در آن حالت موثر و کارا است ($E > 0$) و بالعکس تمامی نقاط زیر خط کارایی آنها منفی است و در نتیجه یادگیری در این حالت ناکارآمد و غیر مفید است. ($E < 0$). [۱۹] همچنین پاس و همکاران نشان دادند کارایی بالا در آموزش از عملکرد بالا در آزمون و تلاش کم حاصل می‌شود (ناحیه حاشور خورده در نمودار) و کارایی آموزشی کم نتیجه عملکرد ضعیف در و تلاش ذهنی بالا است (ناحیه نقطه‌ای در نمودار). [۲۰]

در یک بررسی دیگر توسط پاس و ون‌گوک از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۷ که بیش از ۳۰ مورد پژوهش در رابطه با نظریه‌ی بار شناختی را شامل می‌شد که از معیار کارایی استفاده کرده بودند. با این حال همان طور که پاس و ون‌گوک اشاره کرده بودند تفاوت‌هایی بین روش امتیاز دهی ذهنی وجود داشت باعث ایجاد تفاوت‌هایی که در روش امتیاز دهی ذهنی وجود داشت باعث ایجاد تفاوت‌هایی در کارایی شده است. زیرا کارایی طبق فرمول به اندازه‌گیریهای ذهنی بستگی دارد. آنها اظهار داشتند که رویکردهای گوناگون، انواع مختلف کارایی را می‌سنجد. استفاده از امتیازهای ذهنی جمع‌آوری شده پس از آزمون، عواقب یادگیری ساخت ساختارهای شناختی نظیر الگوهای ذهنی را اندازه‌گیری می‌کند، درحالی‌که اندازه‌گیریهای بعدی نشان دهنده‌ی کارایی آموزش است. [۱۶]

کارایی یادگیری می‌تواند شاخص خوبی برای طراحی و خودکارسازی باشد. اگر دانش‌آموزان الگوهای جدیدی به دست آورند و بتوانند با استفاده از آنها با تلاش کمتری یاد بگیرند، آن الگو قوی به حساب می‌آید حتی اگر طراحی آموزشی بیشتری نیاز باشد. با این وجود، بازدهی آموزشی نقش مهمی دارد، زیرا نشان می‌دهد که فرایند یادگیری به چه شکل کارآمد است. دانستن میزان

³⁰Z-score normalization



شکل ۸: محور افقی نشان دهنده تلاش ذهنی و محور عمودی کارایی خواهد بود، طبق شکل نواحی حاشور خورده دارای کارایی مثبت و نواحی نقطه‌ای دارای کارایی منفی هستند.

سختی یا آسانی در طراحی آموزشی، نقش مهمی در نظریه‌ی بار شناختی دارد. با وجود این تفاوت در رویکردها، هر دو محاسبه کار آیی آموزش و عملکرد در یادگیری اطلاعات در یک آزمون مهم هستند و می‌توانند اطلاعات حیاتی مربوط به طراحی آموزشی را فراهم کنند. [۶]

مسائل مهم محاسبه‌ی کارایی با وجود استفاده در مقیاس وسیع، هافمن و شارو برخی از نگرانی‌های مربوط به محاسبه کارایی آموزشی را شناسایی کردند. در بررسی کارایی، آنها مدل اصلی پاس و ونمرینور را به عنوان یک الگوی انحراف^{۳۱} دسته بندی کرده‌اند، زیرا بر اساس اختلاف بین نمرهای عملکرد و تلاش استاندارد شده، محاسبه می‌شود. آنها استدلال کردند که تفسیر معنای تفریق دو متغیر که متفاوت از یکدیگر هستند، دشوار است. آنها این مثال را مطرح کردند که مشابه این است که هوش و وزن فرد را که به صورت z-score درآمد‌ها را از هم کم کنیم. بنابراین تفسیر نتیجه‌ی نمری به دست آمده مشکل است. [۲۱] آنها همچنین اشاره کردند که اندازه‌گیری کارایی تنها می‌تواند بر اساس داده‌های گروهی باشد و در نتیجه نمی‌تواند برای مقایسه‌ی کارایی فرد استفاده شود. از سوی دیگر آنها پیشنهاد کردند که تفاوت‌های یافت شده در

³¹Deviation model

³²text

رفتار کلی مقایسه شود. بیشتر مطالعه‌های انجام شده در چارچوب نظریه‌ی بار شناختی به طور کلی بر روی تفاوت‌های گروهی تمرکز می‌کنند، بنابراین مقایسه‌های فردی مسئله‌ای نیست. هافمن و شارو به عنوان جایگزینی برای مدل انحراف، مزایای دو روش دیگر را توصیف کردند: الگوی احتمال^{۳۳} بر اساس نسبت عملکرد و امتیازدهی و الگوی احتمال شرطی^{۳۴} بر اساس نسبت احتمالها. [۲۱] هافمن و شارو، مدل انحراف را ضعیف نمی‌دانند بلکه مدعی هستند که الگوهای مختلف با اهداف تحقیق مختلف، متفاوت هستند. با این وجود، بر اساس تجزیه و تحلیل هافمن و شارو محاسبه‌ی نسبت عملکرد و امتیازدهی خودانگارانه (الگوی احتمال) بسیار ساده است و می‌تواند برای تعیین اندازه‌ی کارآیی فردی مورد استفاده قرار گیرند. این اندازه‌گیری‌های خودانگارانه می‌تواند به راحتی ترکیب شود تا کارآیی گروهی را که برای مقایسه‌ی رفتارهای کلی ضروری است فراهم کنند. انتظار می‌رود پژوهش‌های آتی برای محاسبه‌ی کارآیی، بیشتر از الگوهای احتمالاتی استفاده کنند. [۲۱]

۵.۳.۳ سنجش بار شناختی از طریق یک کار ثانویه

معیارهای ذهنی که در بالا شرح داده شدند، شایعترین ابزار مورد استفاده برای اندازه‌گیری بار شناختی بودند. با این حال، روش سنتی برای ارزیابی بار حافظه‌ی کاری استفاده از کار ثانویه است که با کار اصلی^{۳۵} ترکیب می‌شود (روش دوگانه). یک کار ثانویه، مستلزم این است که یادگیرنده علاوه بر کار اصلی یا حل مسئله، با فعالیت شناختی دیگری که به کار اصلی اضافه می‌شود، درگیر شود. برای مثال، در حالی که فرد در حال یادگیری چگونگی حل یک مجموعه مسائل ریاضی است، از وی خواسته می‌شود تا به نحو مشخصی به یک صدای خاص به عنوان یک فعالیت ثانویه پاسخ دهد. اگر کار اصلی بار شناختی سنگینی را تحمیل کند، عملکرد در کار ثانویه بدتر می‌شود. در مقابل، بار شناختی کمتر در کار اصلی می‌تواند عملکرد بهبود یافته در کار ثانویه را افزایش دهد. [۲۲]

معمولاً، کار ثانویه کاملاً متفاوت با کار اصلی و نیاز به منابع حافظه کمتر نسبت به کار اصلی دارد؛ با این حال، سویلر یک جایگزین برای این قالب ایجاد کرد. سویلر معتقد است که درخواست کردن از دانش‌آموزان در حل مسئله از طریق یادگیری شامل دو فرآیند است:

۱. حل مسئله، کار اصلی

³³Likelihood model

³⁴Conditional likelihood model

³⁵Primary task

۲. یادگیری از طریق تجربه، کار ثانویه.

به عبارت دیگر، زمانی که فراگیران در حال حل مسئله به عنوان وظیفه اصلی هستند، ممکن است این درگیری بر عملکرد کار ثانویه تأثیر بگذارد. مشکل پیچیده‌تر این است که کمتر در مورد کار ثانویه یاد بگیرند. شواهد تجربی بر اساس یک کار خاص ثانویه که شامل یادآوری داده‌ها و راه حل یک مشکل پیشین است، این استدلال را پشتیبانی می‌کند. فرآیندهای آموزشی در جهت کاهش بار شناختی مرتبط با حل مسئله‌ای که اطلاعاتی که نیاز به یادآوری برای حل مسئله قبلی دارد حرکت می‌کند. [۲۲]

در یک استفاده سنتی از یک کار ثانویه، مارکوس و همکاران تعامل با عناصر ارائه‌ی آموزشی را موردبررسی قرار دادند و به طور خاص بررسی کردند که یک نمودار چگونه تعامل با عناصر را نسبت به حالتی که فقط متن نمایش داده می‌شود، کم می‌کند. در این مطالعه، دو نوع کار ثانویه مورد استفاده قرار گرفت که در هر دو، کار اصلی یکسان بود. در یک آزمایش، کار ثانویه این بود که صدای بوق را که به صورت تصادفی در طول یادگیری پخش می‌شود، تشخیص دهند. یادگیرندگان باید به محض شنیدن صدا، یک پدال پایی را فشار می‌دادند. زمان پاسخ^{۳۶} به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری بار شناختی اعمال شده توسط کار اصلی، مورد استفاده قرار گرفت. در آزمایش دوم، کار ثانویه، یادآوری اعداد دو رقمی بود که در حین کار اصلی به نمایش درمی‌آمدند. در این مورد، دقت یادآوری اعداد در کار ثانویه، به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری بار شناختی استفاده شد. برای هر دو نوع کار ثانویه، نتایج قابل توجهی در تطابق با نتایج یادگیری به دست آمد. استفاده از نمودارها و محتوای تعاملی که منجر به نتایج بهتر، یادگیری و عملکرد قویتر در وظایف ثانویه شد. از این رو در این پژوهش، توصیف بار شناختی مورد پشتیبانی قرار گرفت. [۱۵] چندلر و سویلر نیز از یک روش دوگانه استفاده کردند تا نشان دهند که کار ثانویه، که یادآوری یک نشانه بود، تحت تأثیر قسمت آموزش قرار گرفته است. برای کار ثانویه، دو نشانه‌ی جداگانه با صدای بوق ۸ ثانیه بر روی صفحه نمایش کامپیوتر نمایش داده شد. یادگیرنده باید نشانه‌ی اول را، در حالی که نشانه‌ی دوم را به خاطر می‌سپارد، به یاد آورد. نتایج نشان داد که راهبرد آموزشی که بار شناختی کمتری اعمال کند، دارای نمره‌های بالاتری در کار ثانویه است. علاوه بر این، تفاوت‌های قابل توجهی تنها برای راهبردهای آموزشی و اقدام‌های ثانویه یافت شد، زمانی که محتوای یادگیری دارای تعامل بالا با عناصر بودند. برای محتوایی که کمتر در تعامل با عناصر بودند، منابع حافظه‌ی کاری بیشتری برای درگیری با کار ثانویه در دسترس بود، در نتیجه نتایج بهتری در آن به دست آمد و کمتر تحت

³⁶Response time

تأثیر قرار گرفت. [۲۳] در کارهای حل مسئله، در مقایسه با سایر وظایف، هالفورد، میبری و باین [۲۴] و آیریس [۱۳] از یک کار ثانویه استفاده کردند تا نشان دهند که تعامل بالا با عناصر، با بار حافظه‌ی کاری بالا مطابق است.

برونکن، اشتاینباخر، پلس و لوتنر از یادگیرندگان خواستند که تغییر رنگ نشانیهایی را که در بالای ارائه‌ی اصلی نمایش داده می‌شد، رصد کنند. هنگامی که رنگ تغییر کرد، یادگیرنده باید کلیدی را که روی صفحه کلید مشخص شده است، فشار دهد. زمان پاسخ در این پژوهش، برای اندازه‌گیری بار شناختی استفاده شد. نتایج نشان دادند که برای ارائه‌هایی که خوب طراحی شده بودند، بهترین عملکرد حاصل شد و دوباره از نظریه‌ی بار شناختی پشتیبانی گردید. [۲۵]

در پژوهش قبلی، کار ثانویه دیداری بود. در مطالعه‌ی بعدی، برونکن، پلس و لوتنر کار ثانویه شنیداری را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از این استدلال که محتوای شنیداری و دیداری در زیرسیستمهای مختلف حافظه‌ی کاری پردازش می‌شوند، برونکن و همکاران معتقدند که حالت‌های مختلف (دیداری و شنیداری) کارهای ثانویه باعث بروز بار شناختی گوناگون در کانالهای مختلف حافظه‌ی کاری خواهد شد. به طور خاص، یک کار ثانویه شنوایی باعث ایجاد تفاوت‌های بار شناختی در کانال شنوایی خواهد شد. [۲۵] این فرض با استفاده از همان محتوای آموزشی که برونکن و همکاران استفاده کردند انجام شد، با این تفاوت که به جای رصد کردن تغییر رنگ نشانیه‌ها، از صدای بوق که به صورت تصادفی در طول آزمایش پخش می‌شد، استفاده کردند. این بار نیز از زمان پاسخ به عنوان معیاری برای بار شناختی استفاده گردید. همان طور که پیشبینی می‌شد، کار ثانویه شنیداری در مقایسه با کار ثانویه دیداری، موجب افزایش بار شناختی بیشتری در کانال شنوایی شد. [۲۶] این دو مطالعه نشان دادند که چگونگی کار ثانویه عامل مهمی است که باید در نظر گرفته شود.

ون‌گرون، پاس، ونمرینبور و اشمیت یک کار ثانویه شنیداری-دیداری را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، در کار ثانویه از یادگیرندگان درخواست شد که روشنایی دکمه‌ی یک نوع وسیله‌ی پخش موسیقی^{۳۷} را که روبه‌روی محتوای آموزشی نشان داده می‌شد، رصد کنند. در این مطالعه کار ثانویه شنیداری-دیداری با کار ثانویه تنها دیداری و تأثیر سن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج یادگیری نشان داد که افراد جوان بهتر از افراد مسن عمل کردند ولی اثری برای کیفیت محتوای آموزشی پیدا نشد. کار ثانویه، این نتیجه را برگرداند: یادگیرندگان جوان، زمان پاسخ کمتری را نسبت به یادگیرندگان مسن داشتند. به علاوه، اندازه‌گیری فردی بار شناختی نیز جمع‌آوری شد که

³⁷Jukebox

تفاوت‌های میان سن و کیفیت را نشان می‌داد. جالب اینکه، حتی اگر هیچ اثری ناشی از کیفیت بر عملکرد آزمون وجود نداشت، اندازه‌گیری فردی، ارائه‌ی دوگانه را بهتر از حالت ارائه‌ی واحد، ارزیابی کرد. این آزمایش نشان داد که ارزیابی فردی، بار شناختی را بهتر از کار ثانویه اندازه‌گیری می‌کند. [۲۷]

پژوهش‌ها در حوزه نظریه‌ی بار شناختی، کمتر از کار ثانویه نسبت به ارزیابی فردی به عنوان معیاری برای بار شناختی استفاده کرده‌اند. شاید سهولت استفاده دلیل اصلی این تفاوت در استفاده از این دو روش باشد. ارزیابی فردی می‌تواند به سرعت و سادگی مورد استفاده قرار گیرد. این معیار را می‌توان برای یک شخص یا تعدادی دانش آموز در یک کلاس، بدون امکانات خاصی به کار برد. در مقابل، کار ثانویه به برنامه ریزی بیشتری نیاز دارد و بسته به طبیعت کار ثانویه ممکن است امکانات خاصی نیاز داشته باشد. [۶]

با این وجود، مزیت‌هایی نیز در استفاده از کار ثانویه وجود دارد. مزیت اصلی این است که امکان اندازه‌گیری بار شناختی پیوسته در طول یک کار فراهم است، در حالی که ارزیابی فردی، بار سراسری شناختی را پس از پایان کار اندازه‌گیری می‌کند. [۶]

تاکنون اندازه‌گیری کارآیی با استفاده از کار ثانویه محاسبه نشده است. هیچ دلیلی برای محاسبه نشدن آنها وجود ندارد. تمامی معیارهای کارآیی که توسط هافمن و شارو [۲۱] بررسی شد می‌توانند به سادگی توسط کار ثانویه به عنوان یک ارزیابی فردی محاسبه شوند، که یک ارزش گذاری جدید برای بار شناختی ایجاد می‌کند.

۶.۳.۳ سنجش فیزیولوژیکی بار شناختی

چِن و اِپس [۲۸] با طبقه بندی داده‌هایی که توسط دستگاه ردیاب چشمی از کاربر گرفته می‌شود توانستند معیار خوبی برای اندازه‌گیری بار شناختی به صورت هم‌زمان به دست آورند. از جمله ویژگی‌های اندازه گیری شده می‌توان به قطر مردمک چشم، پلک زدن و حرکت‌های چشم اشاره کرد. آزمایش آن‌ها محاسبه‌های ریاضی و نشان دادن عکس به کاربر بود.

پاس و و نمرینبور یک معیار فردی را با تحلیل نرخ ضربان قلب مقایسه کردند و نتیجه این بود که معیار فردی دارای پتانسیل بالاتری است. تعداد کمی از مطالعات فیزیولوژیکی پس از آن توسط پژوهشگران نظریه‌ی بار شناختی در دهه‌ی بعد انجام شد. با این حال اخیراً، دوباره علاقه به این اقدامات ظهور کرده است. واکنش مردمک‌های چشم^{۳۸} به فعالیت‌های شناختی، راهبرد

³⁸Pupillary response

دیگری بود که امتحان شد. [۲۹] ونگرون، پاس، ونمرینور و اشمیت با اشاره به کار کاهنمن و بیتی [۳۰]، استدلال کردند که اندازه‌ی مردمک می‌تواند به بار حافظه‌ی کاری مربوط باشد. با استفاده از یک مجموعه تکالیف که نیاز به بار حافظه‌ی مختلفی داشتند، پیشنهاد کردند که اندازه‌ی مردمک چشم، با افزایش بار حافظه، بیشتر می‌شود. با این وجود یکی از محدودیت این معیار، سن فرد است زیرا با افزایش سن، همبستگی این معیار با بارشناختی کم می‌شود و پاسخ قابل اعتمادی به دست نمی‌آید. [۳۱] پژوهشگران برای اندازه‌گیری بار شناختی از روشهایی مانند تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (اف‌ام‌آرآی) ^{۳۹} و الکتروانسفالوگرافی (ای‌ای‌جی) نیز استفاده کرده‌اند. این علاقه همزمان با توسعه‌ی فناوری‌های پیچیده‌تر بود. شواهد نشان می‌دهد که روشهای فیزیولوژیکی می‌توانند شایستگی قابل توجهی داشته باشد. [۶] برای مثال، آنتونکو و نایدرهاوسر هر دو مقیاسهای فردی و ایایی را در یک مطالعه که یادگیری را با استفاده از ابرمتن‌ها بررسی می‌کرد، جمع‌آوری کردند. تلاش ذهنی به عنوان مقیاسی برای اندازه‌گیری فردی مورد استفاده قرار گرفت و ای‌ای‌جی از موج‌های آلفا، بتا و تتا جمع‌آوری شد. نتایج تحقیقات نشان داد که استفاده از ابرمتن، نتایج یادگیری بهتری را در مقایسه با عدم استفاده از آن، حاصل کرد. در حالی که هیچ تفاوتی بین گروهی، برای اندازه‌گیری تلاش ذهنی یافت نشد، اندازه‌گیری‌های آلفا، بتا و تتا در گروهی که از ابرمتن استفاده می‌کردند به طور قابل توجهی کم بود. نتیجه این بود که ابرمتن موجب کاهش بار شناختی می‌شود و تنها ای‌ای‌جی به اندازه‌ی کافی، حساس به این تفاوت‌ها بود. درباره‌ی شکست روش فردی، آنتونکو و نایدرهاوسر استدلال کردند که مزیت روش ایایی این بود که سطوح مختلفی از بار را بازتاب می‌دهد، مانند بار لحظه‌ای، بار بیشینه، بار میانگین، بار تجمعی و بار سراسری. در حالی که اندازه‌گیری فردی تنها می‌تواند بار سراسری را اندازه‌گیری کند. [۳۲] در یک پژوهش، روش‌های برخط ^{۴۰} مانند رهگیری چشم و رصد ضربان قلب ^{۴۱} که می‌تواند در طول یادگیری و آزمون استفاده شوند و روشهای برون خط ^{۴۲} مانند اندازه‌گیریهای فردی که تنها بعد از اتمام فعالیت میتوان آنها را به کار گرفت، تمایز قائل شدند. در طی چند سال گذشته، پژوهشها در زمینه‌ی نظریه‌ی بار شناختی و محیطهای آموزش چندرسانهای، برای ردیابی بیشتر از ر هگیری چشم استفاده کرده‌اند. بعضی شواهد نیز نشان داده‌اند که می‌توان از رهگیری چشم برای اندازه‌گیری نوسان‌های بار شناختی استفاده کرد. پژوهشگران دریافتند که ترکیبهای مختلف متن

³⁹Functional Magnetic Resonance Imaging(FMRI)

⁴⁰Online

⁴¹Heart rate

⁴²Offline

و تصویر که نیازمند سطوح مختلفی از پردازش شناختی هستند، با تغییرهای تثبیت‌های چشمی^{۴۳} همبستگی داشتند. به طور کلی نشان داده شده است که تثبیت طولانیتر چشم، نشاندهدی پردازش شناختی بیشتر است. در نتیجه، داده‌های رهگیری چشم دارای شایستگی قابل توجهی هستند، زیرا نه تنها نشان می‌دهند که یادگیرنده به کجا تمرکز می‌کند، بلکه مدت توجه وی را نیز رصد می‌نماید که متناظر با تغییرهای بار شناختی است. [۶] یکی دیگر از راهبردهای برخط که برای استفاده دارای قابلیت است، به کارگیری شاخصهای پیچیدگی زبان است. در حالی که این معیار ذاتا فیزیولوژیکی نیست، پیچیدگی گفتاری بسیاری از مشخصه‌های معیارهای فیزیولوژیکی را به اشتراک می‌گذارد که شامل قابلیت استفاده برخط است و به طور همزمان با یادگیری و آزمون قابل به کارگیری است. [۶] خواجه، چن و مارکوس معتقدند که با افزایش دشواری کار، چگالی واژگان بیان، کاهش می‌یابد. این اثر در یک مطالعه بر روی گروه‌های مدیریت حوادث آتش سوزی جنگل گزارش شده است. هر چقدر که آتش سوزی چالش‌انگیزتر و شامل حوادث غیرمنتظره بود، الگوهای گفتاری گروه‌های عملیاتی تغییر یافت و با توجه به پیچیدگیهای کاری دارای چگالی کمتری شد. از این رو، اندازه‌گیری پیچیدگی زبان به صورت بالقوه یکی دیگر از شاخصهای مفید برخط برای بار شناختی است. [۳۳] در حال حاضر، بعد از آغازی ناامیدکننده، شاخصهای فیزیولوژیکی سرانجام به عنوان جایگزینهای مناسبی برای روشهای فردی، جزو علاقه‌مندیهای پژوهشگران است. برخی از روشها امیدوارکننده هستند، اما هنوز هم خیلی زود است که با وجود تأکید پژوهشها بر این روشها، آنها را جامع بدانیم. در گذشته نشان داده شده است که استفاده از روشهای فیزیولوژیکی، نسبت به تفاوت‌های بار شناختی تولیدشده توسط طراحیهای آموزشی مختلف به صورت کافی حساس نبوده است. هنوز مشخص نشده است که آیا تلاشهای کنونی برای یافتن اقدامات فیزیولوژیکی که به اندازه‌ی کافی حساس باشند، موفقیت آمیز خواهد بود یا نه. [۶] در فصل بعد به صورت خاص، به بررسی دو روش پراستفاده‌ی فیزیولوژیکی چشمی (رهگیری چشم) و مغزی (ای‌ای‌جی) برای سنجش بار شناختی در فرآیند یادگیری چندرسانه‌ای از طریق فیلم آموزشی می‌پردازیم.

۷.۳.۳ سنجش انواع مختلف بار شناختی

پس از شناسایی دسته‌های مختلف از بار شناختی، پیشبینیهای نظری بر اساس بار شناختی پیچیده‌تر شد. پژوهشگران به جای استفاده از بار شناختی سراسری برای استدلال اینکه چرا یک طراحی آموزشی کارآمد است یا نه، شروع به تفکیک بین دسته‌های بار شناختی برای صورت بندی فرضیه‌های

⁴³Eye fixations

خود کردند. از این رو در دهه گذشته علاقه‌ی زیادی برای دستیابی به روشهایی برای اندازه‌گیری انواع مختلف بار شناختی به وجود آمده است. [۸]

از لحاظ نظری، فرض بر این است که بار شناختی ذاتی و فرعی به کل بار شناختی افزوده می‌شود. موضوع ساده‌ای است که بار شناختی ذاتی و فرعی را به‌وسیله‌ی روشهای تجربی متمایز کنیم. در یک آزمایش آموزشی، اگر بار شناختی ذاتی ثابت نگه داشته شود و بار شناختی فرعی در آزمایشها فرق داشته باشد، این اختلاف باید در نتایج اندازه‌گیریهای فردی نیز مشاهده شود که این تفاوتها نمایانگر بار شناختی فرعی است. به طور مشابه، با ثابت نگهداشتن بار فرعی و متغیر کردن بار ذاتی می‌توان با استفاده از میزان تفاوتها در اندازه‌گیریها، بار ذاتی را نیز محاسبه کرد. آیریس از این قانون به عنوان اولین تلاش برای اندازه‌گیری بار شناختی ذاتی استفاده کرد. [۸]

با استفاده از یک تکلیف حل مسئله، آیریس از دانش آموزان خواست تا مجموعه‌ای از مسئله‌های جبری را که نیاز به محاسبه‌های پی در پی دارند، حل کنند. چون دانش آموزان قبلاً درباره‌ی این مسئله آموزش دیده بودند، آیریس استدلال کرد که بار فرعی مطابق با فاکتورهای آموزشی ثابت است. [۳۴] در مطالعه‌ی قبلی، آیریس دریافت که دانش آموزان با توجه به محل محاسبه‌ها، خطاهای نمایه‌ای^{۴۴} خاصی را نمایش دادند. بعضی از محاسبه‌ها، بیشتر نیازمند تعامل بودند و در نتیجه نرخ خطای بالاتری در آن نقاط مشاهده شد. [۱۳] آیریس از دانش آموزان خواست که به محض حل مسئله، میزان آسانی یا دشواری را که در طول هر مرحله از حل مسئله تجربه کردند، امتیازدهی کنند. نتایج، تطابق پایداری را بین امتیازدهی دشواری و الگوهای خطا نشان داد. از طریق امتیازدهی فردی برای هر مرحله از مسئله، این امکان فراهم شد که تعامل با عناصر (بار شناختی ذاتی) داخل هر مسئله نیز قابل محاسبه باشد. همچنین دانش آموزانی که دارای دامنهی دانش بیشتری بودند، از طریق امتیازدهی فردیشان، راحت‌تر می‌شد آنها را از دانش آموزانی که دانش قبلی کمتری داشتند، متمایز کرد. آنهایی که احتمالاً بیشترین دانش را داشتند، امتیازدهی را با دقت و عمق بیشتری انجام دادند. حتی اگر دانش آموزان با توانایی بالا، خطاهای اندکی را انجام دهند، باز هم قادر بودند تفاوت میان عناصر تعاملی را در سطوح مختلف شناسایی کنند. در این مطالعه، هیچ تلاشی برای ارائه‌ی مباحث جداگانهای از دسته‌های مختلف بار شناختی انجام نشده است. در عوض، بار شناختی فرعی ثابت نگه داشته شد و در نتیجه هرگونه تفاوت بار ممکن است به خاطر بار ذاتی باشد.

[۳۴]

دیلو و مایر از رویکرد ترکیبی متشکل از معیارهای ذهنی و یک کار ثانوی برای بررسی اینکه آیا

⁴⁴Error profiles

ابزارهای مختلف می‌توانند بار شناختی ذاتی، فرعی و وابسته را جداگانه اندازه‌گیری کنند، استفاده کردند. دیلیو و مایر استدلال می‌کنند که بار ذاتی را می‌توان با افزایش تعداد جمله‌های توضیحی در یک درس چندرسانه‌ای و بار اضافی را با تغییر محتوای اضافی متشکل از همان متن و گفتار دستکاری کرد. عملکرد در هنگام انتقال مطالب معیاری برای اندازه‌گیری بار شناختی وابسته بود. سه معیار بار شناختی جمع‌آوری شد: زمان پاسخ به فعالیت ثانویه که شامل تغییر رنگ پسزمینه بود، امتیازدهی فردی تلاش ذهنی در طول درس و امتیازدهی میزان دشواری که بعد از درس جمع‌آوری شد. در دو آزمایش، مشخص شد که کار ثانویه بیشترین حساسیت را به دستکاری افزونگی (بار فرعی) داشت، تلاش ذهنی بیش از همه به تغییرهای پیچیدگی جمله‌ها (بار ذاتی) حساس بود، و امتیازدهی دشواری نیز بیشترین حساسیت را به میزان موفقیت در انتقال مطالب داشت. دانش آموزانی که بالاترین نمره‌ها را به چگونگی انتقال مطالب دادند تلاش وابسته‌تری داشتند و کسانی که نمره‌های پایین را دادند تلاش وابسته‌تری انجام دادند. [۳۵]

این یافته‌ها نشان می‌دهد که اندازه‌گیری‌های مختلف می‌تواند به فرآیندهای مختلف ضربه بزند و حساسیت‌های مختلف را نشان دهند. با این وجود، ممکن است شک داشته باشید که آیا سه روش استفاده شده می‌تواند انواع مختلف بار شناختی را تشخیص دهند یا خیر. روشن نیست که چرا یک کار ثانویه نسبت به بار شناختی فرعی باید بیشتر از تلاش ذهنی حساس باشد یا چرا تلاش ذهنی باید به طور خاص بر روی بار ذاتی حساس باشد. علاوه بر این، شک برانگیز است که عملکرد انتقال لزوماً یک معیار برای اندازه‌گیری بار وابسته باشد. افزون بر این، باید توجه کرد که با توجه به صورت بندی فعلی، بار شناختی وابسته صرفاً انعکاسی از مقدار بار اعمال شده توسط عناصر تعاملی ذاتی است و بنابراین به طور مستقل به بار کل کمک نمی‌کند. با این وجود جالب است که این اندازه‌گیری مختلف بر اساس ماهیت دستکاری‌ها است. مطالعه‌های بسیار کمی از هر دو معیار امتیازدهی خودآنگارانه و مقیاس کار ثانویه برای اندازه‌گیری بار شناختی، استفاده کرده‌اند. [۸]

شاخص بار کاری ناسا در تلاش برای اندازه‌گیری جنبه‌های مختلف بار شناختی، برخی از پژوهشگران تحت تأثیر یک مقیاس چندبعدی به نام شاخص بار کاری ناسا^{۴۵} قرار گرفتند. [۳۶] این شاخص، شامل شش زیرمقیاس است که عوامل مختلفی را در رابطه با تکمیل یک کار، اندازه‌گیری می‌کند:

⁴⁵NASA Task Load Index (NASA-TLX)

۱. نیازمندیهای ذهنی^{۴۶} چقدر فعالیت ذهنی و ادراکی موردنیاز بود؟
 ۲. نیازمندیهای فیزیکی^{۴۷} چقدر فعالیت فیزیکی موردنیاز بود؟
 ۳. نیازمندیهای زمانی^{۴۸} چقدر فشار زمان رخ داده است؟
 ۴. کارآیی به نظر شما، موفقیت شما در انجام اهداف تعیین شده توسط آزمایشگر چقدر بوده است؟
 ۵. تلاش چقدر دشوار بود که با انجام کار ذهنی و فیزیکی به سطح کارآیی مورد انتظار خود برسید؟
 ۶. سطح ناامیدی^{۴۹} چقدر در طول انجام این کار، احساس ناامنی، ناامیدی، عصبی شدن، پریشانی را به جای احساس امنیت، رضایت و آرامش تجربه کردید؟
- از طریق ترکیب این زیرمقیاس‌ها یک اندازه‌گیری سراسری از بار ذهنی محاسبه می‌شود. [۸]

اخیرا در یک بازتاب از استفاده از این شاخص، هارت متوجه شد که این مقیاس عمدتا در مطالعه‌هایی که بر روی طراحی واسط و ارزیابیها متمرکز بودند، استفاده شده است که شامل تأثیر خودکارسازی و تصمیمگیری بودند. [۳۷]

علاوه بر این، مطابق با اهداف اصلی که برای آن طراحی شده، در بسیاری از مطالعه‌ها کنترل ترافیک هوایی و سایر فعالیتهای هوافضایی استفاده شده است. در مقابل، پژوهشگران نظریهی بار شناختی که روی محیط یادگیری متمرکز شده بودند و از این مقیاس استفاده کردند، اغلب ساختار آن را با انتخاب بعضی زیرمقیاسها تغییر دادند. همچنین صورت برخی از سوالها را نیز عوض کردند. [۸]

در تلاش برای اندازه‌گیری دسته‌های مختلف بار شناختی، شایتر، گرجتر، و کاتامین سه مورد از سوالها را انتخاب کردند: «نیازمندی‌های کار»^{۵۰} مقدار فعالیت ذهنی و فیزیکی برای انجام تکلیف یادگیری نیاز بود؟، «تلاش» (به چه میزان تلاش و کار نیاز بود تا دانش آموز مفاهیم درس را متوجه شود؟) و «نیازمندیهای هدایت»^{۵۱} (شرکت کننده باید به چه میزان تلاش کند تا

⁴⁶Mental demands

⁴⁷Physical demands

⁴⁸Temporal demands

⁴⁹Frustration

⁵⁰Task demands

⁵¹Navigation demands

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

Name	Task	Date
------	------	------

Mental Demand How mentally demanding was the task?

Very Low Very High

Physical Demand How physically demanding was the task?

Very Low Very High

Temporal Demand How hurried or rushed was the pace of the task?

Very Low Very High

Performance How successful were you in accomplishing what you were asked to do?

Perfect Failure

Effort How hard did you have to work to accomplish your level of performance?

Very Low Very High

Frustration How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?

Very Low Very High

شکل ۹: نمونه‌ی معیار پرسش‌نامه‌ی شاخص بار کاری ناسا

محیط آموزش را کنترل کند؟). گرجتز و همکاران استدلال کردند که هرکدام از این موارد می‌تواند به ترتیب، متناظر با بار شناختی ذاتی، وابسته و فرعی باشد. نتایجی از یک مطالعه که پیچیدگی مثال‌های کار شده را دستکاری می‌کرد نشان داد که موافقت گسترده‌ای با داده‌های عملکرد وجود دارد. به عبارت دیگر، گروه‌هایی با بالاترین میزان یادگیری، کمترین میزان بار شناختی را گزارش کردند. با این حال، شواهدی برای مشارکت این سه معیار با انواع مختلف بار شناختی ذکر شده وجود ندارد. [۳۸]

اصل حجم کاری ورودی ترافیک هوایی این اصل که به اختصار ATWIT^{۵۲} خوانده می‌شود، اولین بار توسط استین معرفی شد. [۳۹] این معیار در مقایسه با معیار ناسا که تنها می‌تواند در انتهای فعالیت شناختی استفاده شود، آزادی بیشتری دارد و این اجازه را می‌دهد تا در حین فرآیند یادگیری از آن استفاده شود. این معیار برای سیستم‌ها و مطالعه‌های کنترل ترافیک هوایی طراحی شده با این حال در حوزه‌های دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد آن ثابت شده است. در این روش از یک مقیاس ۱ (حجم کاری کم) تا ۷ (حجم کاری زیاد) نمره‌ای استفاده می‌شود که در این حین فرآیند یادگیری کاملاً متوقف شده و از یادگیرنده خواسته می‌شود تا بار کاری خود را گزارش کند. یکی از مزیت‌های استفاده از این روش آن است که به ما اجازه می‌دهد تا ارزیابی دقیق‌تری در حین آزمایش شناختی داشته باشیم، به جای آنکه تا انتهای آزمایش صبر کنیم و بار شناختی را گزارش دهیم. در تصویر ۱۰ نمونه‌ای از این پرسشنامه را می‌بینید.

در جستجوی معیارهای متفاوت‌تری برای بار شناختی، تمایل به اصلاح جمله‌های پرسش‌نامه به نحوی که با انواع مختلف بار شناختی متناظر باشند، به وجود آمد. برای برخی از پژوهشگران از مواردی مانند «محتوای آموزشی برای شما چقدر دشوار بود؟ چقدر برایتان مشکل بود تا مفاهیم را یاد بگیرید؟ چقدر در طول یادگیری تمرکز داشتید؟» استفاده کردند. دلیل این جمله بندی برقراری ارتباط با سه سطح مختلف بار شناختی بود. سؤال اول مربوط به بار ذاتی، سؤال دوم مربوط به بار فرعی و سؤال سوم نیز در رابطه با بار وابسته است. در این مطالعه، بین اندازه‌گیری‌های شناختی بار و داده‌های کارایی، ارتباط قابل توجهی یافت شد. با این حال، گاهی وقت‌ها ارتباط‌های بین آزمون کارایی و اندازه‌گیری‌های بار شناختی با پیش‌بینی‌های نظری تطابق ندارد. در تعدادی از مطالعه‌ها جمله بندی‌های با تنوع بیشتری را به کار بردند. از دانش آموزان خواسته شد تا به «دشواری دامنه»

⁵²Air Traffic Workload Input Technique

		LOW HIGH						
		1	2	3	4	5	6	7
Demand	Instability of Situation							
	Variability of Situation							
	Complexity of Situation							
Supply	Arousal							
	Spare Mental Capacity							
	Concentration							
	Division of Attention							
Under	Information Quantity							
	Information Quality							
	Familiarity							

شکل ۱۰: در پرسشنامه حجم‌کاری ترافیک هوایی مقیاس‌ها از ۱ تا ۷ هستند. و می‌توان در طول فرآیند آزمایش از یادگیرنده گرفته شود.

(بار ذاتی) و «چقدر تلاش برای درک مفاهیم مثالها انجام دادید؟» (بار وابسته) امتیازدهی کنند. با این حال، این مطالعه ارتباط مورد انتظار بین اندازه‌گیریهای بار شناختی و نتایج یادگیری را نیافت. [۶]

ناسازگارهای فوق در تلاشهای روانسنجی برای اندازه‌گیری انواع مختلف بار شناختی غیرمنتظره نیست. تمایزهای روانشناسانه بین دسته‌های مختلف بار شناختی نیاز به این دارد که یادگیرندگان نشان دهند که به چه میزان از هر دسته‌ی بار شناختی متحمل شدند. ما به یادگیرندگان شک داریم، به خصوص یادگیرندگان تازه وارد قادر به ایجاد تمایز موردنیاز نیستند. [۶]

۴ معیارهای داده‌های چشمی و مغزی و ویژگی‌های آن‌ها

۱.۴ مقدمه

در بخش ۳ دیدیم معیارهای اندازه‌گیری شناختی را می‌توان به دو صورت دسته‌بندی نمود، نخست واقعیت‌گرانه^{۵۳} و خود-انگارانه یا مستقیم و غیرمستقیم. با این حال سنجش واقعیت‌گرایانه بارشناختی در میان پژوهش‌ها کمتر بوده است. سنجش با فعالیت ثانویه که شامل یک فعالیت دیگر بودند و بار شناختی اعمال شده توسط فعالیت اصلی را با کارایی و یا زمان پاسخ فعالیت ثانویه اندازه‌گیری می‌شوند. سنجش با فعالیت ثانویه نمی‌تواند به صورت پیوسته بار شناختی را اندازه‌گیری نماید، با این حال می‌توان زمان پاسخ دادن به فعالیت ثانویه را در بازه اعمال و یا نمایش محرک فعالیت ثانویه استناد نمود. [۸]

حال روش‌هایی مانند رهگیری چشمی و ای‌ای‌جی که در سال‌های گذشته عمدتاً در شرایط آزمایشی ویژه و محدود به کار می‌رفتند، اکنون به طور فزاینده در محیط‌های یادگیری واقع‌گرایانه کاربرد دارد. قابلیت این روش‌ها برای پایش و سنجش آنی و کمی وضعیت شناختی و ذهنی یادگیرندگان، می‌تواند استفاده زیادی در بهینه‌سازی راهبردهای آموزشی داشته باشد. [۴۰] در این فصل، به بررسی سنجش بار شناختی با روش رهیاب چشمی در فرآیند یادگیری چندرسانه‌ای از طریق فیلم آموزشی می‌پردازیم. همچنین جدیدترین پژوهش‌های کاربردی این حوزه که با کمک معیارهای چشمی به سنجش بار شناختی و یادگیری چندرسانه‌ای پرداخته‌اند، گزارش می‌کنیم.

سنجش پیوسته بارشناختی اجازه تحلیل دقیق‌تر میزان نوسان بارشناختی را با داشتن داده‌های زمان‌های مختلف به ما می‌دهد، بدین صورت می‌توان تحلیل و نتیجه‌گیری‌های دقیق‌تری از داده‌های بارشناختی و ارتباط آن با اثر انواع محرک‌های یادگیری داشت. روش‌های اندازه‌گیری واقعیت‌گرانه‌ی بار شناختی به ما این امکان را می‌دهند تا در تمامی سطوح شناختی شامل آنی، بیشینه، تجمعی، میانگین و سراسری بتوانیم بارشناختی را مورد بررسی قرار دهیم. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های سنجش فیزیولوژیکی مانند: نرخ ضربان قلب^{۵۴}، حرکت چشم^{۵۵}، سطح هرمون‌ها^{۵۶} و نوروآدرنالین^{۵۷}. و از جمله روش‌هایی که در علوم اعصاب استفاده شده‌اند،

⁵³Objective

⁵⁴Heart Rate Variability

⁵⁵Eye Movements

⁵⁶Hormone Levels

⁵⁷Noradrenaline

می‌توان به تصویرسازی تشدید مغناطیسی کارکردی (اف‌ام‌آرآی)^{۵۸}، برش‌نگاری با گسیل پوزیترون (پت‌اسکن)^{۵۹} و نوار مغزی (ای‌ای‌جی)^{۶۰} اشاره نمود. [۸]

به عنوان گزینه‌ای برای اندازه‌گیری بار شناختی هریک محدودیت‌های خود را نیز دارند، برخی ارتباط ضعیف‌تری با بار شناختی برقرار می‌کنند (مانند نرخ پلک زدن، مدت پلک زدن). روش سطح هرمون‌ها سرعت بسیار کمی دارد، نرخ ضربان قلب به نوسان‌های لحظه‌ای بار شناختی حساس نمی‌باشد. برخی اندازه‌گیری‌ها نیز بیش از حد دست و پا گیر و مزاحم هستند و یا نیاز به کاربر متخصص که به دو حیطه شناختی و پزشکی آشنا باشد دارند مانند پست اسکن و اف‌ام‌آرآی در این روش‌ها تصویر برداری عصبی با استفاده از پوشش‌گرها و حس‌گرها تغییرها را در جریان خون مرتبط با فعالیت عصبی را ثبت می‌کنند. در یک پژوهش مشاهده شده است که انقباض مردمک که هیچ‌یک از این محدودیت‌ها را ندارد برای فعالیت‌هایی که شامل خواندن پیوسته باشد مناسب نیست. همچنین علائمی وجود دارد که پاسخ مردمک به تغییرهای بار شناختی بسته به سن شرکت‌کنندگان کاهش می‌یابد. [۸]

در شکل ۱۱ می‌توانید روش‌های مختلف بررسی فعالیت‌های مغزی را مشاهده کنید.

۲.۴ پیشینه پژوهش‌های استفاده از ردیابی چشم

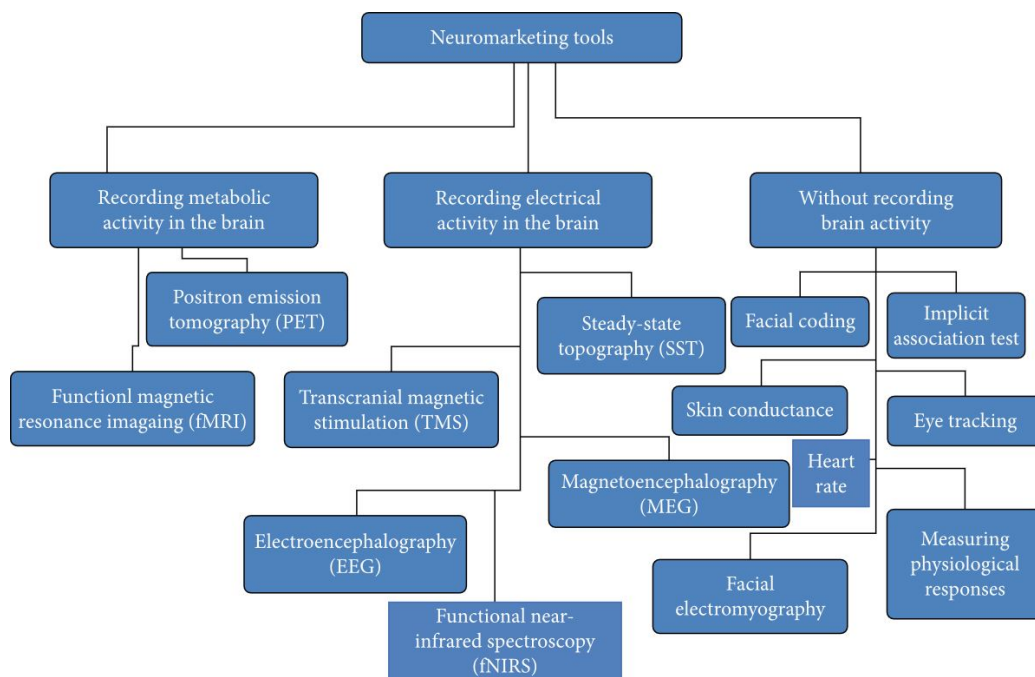
نخست در سال ۱۸۷۹ لوئیس جوال مشاهده نمود که فرایند خواندن متن و حرکت چشم بر روی نوشته‌ها به صورت پیوسته و روان نیست، و در مکان‌های خاصی چشم متوقف (تثبیت چشم) و یا حرکت ناگهانی (پرش چشم) دارد. با این مشاهده سوال‌های جالبی در قرن بیستم میلادی بررسی شدند، از جمله چشم بر روی چه کلمه‌هایی توقف می‌کند؟، به چه مدت؟ و چه زمانی چشم به کلمه‌ای که قبلاً دیده است باز می‌گردد.

نخستین دستگاه ردیابی چشمی توسط ادموند هوی ساخته شد، نوعی لنز بود که با چشم در تماس بود و یک درجه برای مردمک چشم روی آن تعبیه شده بود. که این لنز به نشانه گر آلومینیومی کوچکی متصل بود، او با این دستگاه به بررسی بازگشت چشم بر روی کلمه‌ها پرداخت و نشان داد که چشم روی برخی کلمه توقف نمی‌کند. اولین دستگاهی که مزاحمتی برای چشم ایجاد نمی‌کرد توسط گای توماس باسول، ساخته شده، که پرتوهای نوری که به چشم تابیده می‌شد را بر روی فیلم ذخیره می‌نمود. آلفرد یاربوس در کتابی که در ۱۹۶۷ میلادی منتشر کرد پژوهش‌های مهمی را

⁵⁸Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

⁵⁹Positron Emission Tomography (PET)

⁶⁰Electroencephalography (EEG)



شکل ۱۱: نمودار درختی روش‌های اندازه‌گیری بارشناختی

بیان کرد و به طور خاص به رابطه تثبیت چشم و علاقه پرداخته بود. در طول دهه ۱۹۸۰ جاست و کارپنتر فرضیه مهمی را بیان کردند که می‌گفت هر جا که چشم بر روی آن متوقف شده است ما در حال فکر کردن به آن هستیم و هرچه مدت زمان تثبیت بیشتر باشد بار شناختی بیشتری ایجاد شده است. همچنین آغاز پاسخ دهی به سوال‌های رابطه انسان-رایانه بود. در پژوهش‌های اخیر به رابطه میان انسان و کامپیوتر و استفاده از چشم برای تهسیل آن و آنالیز صفحه‌های وب پرداخته شده.

به گفته هفامن توجه بینایی همیشه در حدود ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی ثانیه جلوتر از حرکت چشم قرار دارد و هر جا که توجه بینایی ما می‌رود چشم هم دنبال می‌کند. [۴۱] به لطف پیشرفت فناوری و علم اکنون ردیابی‌های چشمی همراهی که بر روی چشم استفاده می‌شوند ساخته و تجاری سازی شده است، و دانش شبکه‌های عصبی عمیق^{۶۱} به ما کمک می‌کند تا بتوانیم این داده‌های چشمی را بهتر از گذشته پردازش کنیم. [۴۲]

⁶¹Deep Learning Neural Network

۳.۴ مزیت‌ها و محدودیت‌های اندازه‌گیری بارشناختی با استفاده از رهیاب چشمی

برخلاف سایر دستگاه‌های فیزیولوژیکی که نیازمند دراز کشیدن شخص در وضعیت محصور است (افام‌آری) یا خوردن مواد خطرناک (پت‌اسکن)، ای‌ای‌جی بدون ورود به بدن می‌تواند فعالیت‌های مغزی را به صورت معتبر و با تنظیم‌های دنیای واقعی^{۶۲} اندازه‌گیری کند.

پیش از این فعالیت‌های مغزی با روش‌هایی چون نوار مغزی و مگنتوانسفالوگرافی یا به اختصار MEG^{۶۳} تهیه می‌شد. هدف این گونه ابزارها رصد تغییرهای میدان‌های مغناطیسی ایجاد شده در مجموعه توسط تغییرهای جریان در نوروهای مغزی بود. بارشناختی یکی از شاخصه‌های فعالیت مغز است. عمده محبوبیت این روش‌ها دقت آن‌ها در حدود میلی ثانیه است، با اینحال عموماً تنظیم آن آسان نیست و محاسبه‌های آن پیچیده تر است. همچنین نمی‌توان از داده‌های آن به صورت همزمان استفاده نمود و محل استفاده از آنها نمی‌تواند مکان‌های عمومی و یا حتی در مکان‌های عادی باشد.

روش‌های بسیار غیر نوروئی دیگری وجود دارد که نشان‌دهنده فعالیت‌های مغز و بارشناختی است. فعالیت‌های قشر بیرونی مغز سبب ایجاد تغییرهایی در ضربان قلب، فشار خون، الکترودرمال یا به اختصار EDA^{۶۴}، فعالیت‌های الکتریکی در عضله‌های صورت، حرکت‌های چشم و گشودگی مردمک چشم.

پژوهش‌های اخیر بر روی حرکت مردمک چشم جهت اندازه‌گیری بارشناختی سرمایه‌گذاری کرده‌اند. تا کنون پژوهش‌های زیادی بر رابطه‌ی بین حرکت‌های ارادی چشم مانند توقف یا تثبیت چشم و پرش چشم با بارشناختی و یا حرکت‌های غیر ارادی مثل پلک زدن و گشادی مردمک. به این حرکت‌های چشم رفتاری (ارادی) و فیزیکی (غیر ارادی) نیز گفته می‌شود. با دنبال کردن حرکت‌های چشمی می‌توان به بررسی واکنش فیزیکی افراد نسبت به آزمایش و سیستم می‌توان واسط کاربری متناسب با آن طراحی نمود. به عنوان مثال در شرایط کنترل شده، رهیاب‌های چشمی با دقت بالا و مردمک‌سنج‌ها می‌توانند برای شناسایی کوچکترین گشودگی در مردمک استفاده شوند که نشانه بارشناختی است. [۴۳] با این حال باید توجه شود که سیستم‌های نمایش اطلاعات محتوی‌های بسیاری را نشان می‌دهند، نمایش اطلاعات و تعامل کاربر با سیستم تنوع بسیاری

⁶²Real-World

⁶³Magnetoencephalography

⁶⁴Electrodermal Activity

دارند که این خود سبب سخت شدن در استفاده مستقیم از حرکت‌های چشم در سنجش بار شناختی در مکان‌های عادی می‌شود. از این رو مهم است که رابطی بین حرکت‌های چشم و بار شناختی پیدا شود. [۴۴]

تعامل انسان و رایانه^{۶۵} به دانش و فناوری مدرن و پرتنوع مطالعه، طراحی، اجراء، و ارزیابی سامانه‌های محاسباتی درگیر در محاوره‌ها و تعامل‌های مابین کاربران انسانی از یک سو، و رایانه‌ها و عامل‌های هوشمند نرم‌افزاری از سوی دیگر گفته می‌شود. این دانش به بررسی تعامل انسان و رایانه می‌پردازد، در واقع نقطه تقاطع علوم رایانه و علوم رفتارشناسی طراحی است.

ما باور داریم جنبه‌هایی از تعامل کامپیوتر با انسان، می‌تواند به ما کمک کند بهتر تاثیر کار با کامپیوتر را بر حرکت‌های چشم بفهمیم، مخصوصاً اگر داده‌های فروانی برای بررسی موجود باشد. تعامل انسان با کامپیوتر عامل مهمی است چون: تعامل به شما امکان می‌دهد محدودیت‌ها را از نظر انسانی یا طرف محاسباتی مدیریت کنید مثلاً با نمایش اطلاعات با سطح متفاوتی از جزئیات جابه‌جایی بین پنجره‌ها و نمایش‌های مختلف اطلاعات در نتیجه رشته تعامل انسان و رایانه نظریه‌هایی را فراهم می‌کند که واسطه‌های کاربری‌ای طراحی شوند که به عامل‌های انسانی و قدرت پردازش رایانه بپردازند.

در کنار همه اینها اکثر سیستم‌های امروزی به دوربین مجهز می‌باشند که می‌تواند چهره را رهایی کند، در نتیجه استاندارد کردن رهیاب چشمی با همین پیاده‌سازی زیاد سخت نخواهد بود. اگر ارتباطی میان شناخت و حرکت‌های چشم باشد، این اطلاعات می‌تواند کمک کند تا سیستم خودش را بار شناختی شخص مطابقت دهد. در جدول ۱ به طور خلاصه می‌توانید نقاط قوت و ضعف اندازه‌گیری بار شناختی با استفاده از ردیابی چشمی را مشاهده نمایید.

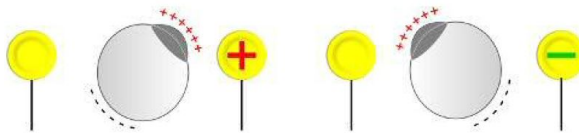
۴.۴ دستگاه ردیاب چشمی

دستگاه‌های ردیاب چشم به ما کمک می‌کنند تا انواع حرکت‌های چشم را اندازه‌گیری کنیم. به طور خلاصه می‌توان گفت دستگاه‌های ردیاب چشمی در این سه دسته قرار دارند: دستگاه ردیاب متصل به چشم، ردیابی نوری و اندازه‌گیری از طریق پتانسیل الکتریکی. در تصویر ۱۲ روش‌های مختلف ردیابی چشم را می‌بینید.

⁶⁵human computer interaction - HCI



(آ) ردیابی چشم به وسیله لنز تماسی



(ب) ردیابی چشم به وسیله بار الکتریکی



(ج) ردیابی چشم با دوربین های نوری

شکل ۱۲: ابزار های مختلف ردیابی چشم

جدول ۱: مزایا و معایب داده‌های چشمی

مزایا	معایب
اندازه‌گیری بار شناختی به صورت همزمان	هنگامی که چیزی نمایش داده نشود مثلا هنگام استراحت، اطلاعی از بار شناختی کاربر نداریم
با یک حسگر می‌توان سه سیگنال حرکت‌های چشم، تغییرات مردمک و پلک زدن را گرفت	با عوض شدن سریع عکس و شدت روشنایی مردمک تحت تاثیر قرار می‌گیرد
می‌توان در هر جایی داده‌های چشمی گرفت	
نشان داده شده که در آزمایش‌های تصویری و صوتی با بار شناختی مرتبط است	
داده‌ها از راه دور گرفته می‌شوند و کاربر کمترین اذیتی نمی‌شود	

۵.۴ معیارهای رهگیری چشم

اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیک که در دسته‌ی روشهای واقع‌گرایانه سنجش بار شناختی جای می‌گیرند، ابزارهای مناسبی برای درک ارتباط بین حافظه‌ی کاری و یادگیری هستند. اغلب این اندازه‌گیری‌ها، امکان ثبت لحظه‌ای بار شناختی را فراهم می‌کنند. یکی از پرکاربردترین این روشها، رهگیری چشمی است. داده‌هایی که توسط دستگاه ردیاب چشم^{۶۶} جمع‌آوری می‌شود در تحلیل بسیاری از فعالیت‌های شناختی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معیارهای مختلفی از داده‌های استخراج شده توسط دستگاه ردیاب چشم مورد استفاده قرار می‌گیرند، برای مثال مدت زمان تثبیت چشم و نرخ پلک زدن در پژوهش‌های بسیاری برای ارزیابی بار شناختی به کار رفته‌اند. برخی از این معیارها، ناشی از حرکات ارادی چشم هستند و برخی غیرارادی اند. در ادامه، هر یک از این معیارها معرفی خواهد شد و ارتباط هر یک با بار شناختی بر اساس پژوهش‌های گذشته بیان می‌شود.

حرکت چشم، شامل هر نوع حرکت ارادی و یا غیر ارادی برای پیدا کردن، تمرکز و دنبال کردن محرک‌های چشمی می‌گویند.

⁶⁶Eye-tracker

۱۰۵.۴ تثبیت چشم

رایج ترین رخدادی که در دستگاه رهیاب چشمی رخ می‌دهد، زمانی است که شخص در حالت تمرکز باشد و چشم‌ها در یک مدت زمانی ثابت باشند به این رویداد تثبیت چشم^{۶۷} گویند. مدت آن از ۲۰۰ الی ۳۰۰ میلی‌ثانیه تا چند ثانیه خواهد بود و زاویه‌ای حدود ۱° است. این یک رویداد ارادی است. تعداد تثبیت‌ها نشان دهنده تعداد دفعاتی است که یک کابر به مکان خاص^{۶۸} نگاه کرده است. پس حالت توجه با مکان خیره شدن در صفحه و یا مکان خاص مشخص می‌شود. رادمن و همکاران [۴۵] متوجه شدند جهت خیره شدن نشان دهنده علت بار شناختی فعلی است. همچنین می‌توان از زمان تثبیت و یا خیرگی^{۶۹} به عنوان عامل نشان دهنده سطح بار شناختی استفاده نمود. این عمل با کاهش نرخ تثبیت همراه خواهد بود. چن و همکاران نشان دادند نرخ و زمان تثبیت با پیچیدگی آزمایش افزایش پیدا می‌کند.

۲۰۵.۴ پرش چشم

پرش چشم^{۷۰} اشاره به حالتی دارد که چشم بین دو موقعیت جابه‌جا می‌شود. پرش چشم و خیرگی می‌توانند با استفاده از الگوریتم‌هایی که مکان طولی و عرضی مردمک را پردازش می‌کنند به صورت خودکار از یکدیگر جدا و برجسته‌گذاری شوند. به صورت ارادی است و پس از تثبیت رخ می‌دهد. تثبیت و پرش چشم توسط سیگنال‌های عصبی از سیستم‌های قشر مغز و تحت قشر رمزگذاری می‌شود. این حرکت سریع‌ترین حرکتی است که بدن می‌تواند انجام دهد و بین ۳۰ تا ۸۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشد تا انجام شود. رایج‌ترین شیوه تجسم پرش چشم، مسیرهای پویش^{۷۱} است. می‌توان سرعت و طول پرش چشم‌ها را سنجید و الگوهای مسیر پویش را مشاهده کرد. [۴۴] چن و همکارانش، از اندازه‌گیری سرعت پرش چشم و طول آن به منظور بررسی تلاش ذهنی انسان استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که سرعت و طول پرش چشم مولفه‌هایی تفکیک‌کننده برای دستیابی به کارایی بالا هستند. [۴۶] همچنین، مانوئل و همکارانش دریافتند که کاهش سرعت پرش چشم نشان دهنده خستگی و افزایش آن نمایانگر افزایش سختی کار است. [۴۷] بر اساس این یافته‌ها، بار شناختی با سرعت و طول پرش چشم نسبت مستقیم دارد؛ یعنی افزایش این دو شاخص، نشان

⁶⁷Fixations

⁶⁸area of interest (AOI)

⁶⁹fixation duration

⁷⁰Saccades

⁷¹Scanpath

دهنده افزایش بار شناختی است.

دامنه پرش یک ویژگی مفید دیگر، دامنه پرش^{۷۲} است، که اشاره به سختی دنبال کردن و یافتن دقیق مکان هدف مورد نظر دارد. [۴۸]

۳.۵.۴ گشادی قطر مردمک

یکی دیگر از معیارهای چشمی گشاد شدن مردمک چشم^{۷۳} است، عملکرد اصلی تغییر قطر مردمک محافظت از شبکیه (در برابر تابش نور) است و همچنین برای پاسخ به تغییر در تثبیت تصویر و واضح کردن آن برای اشیاء دور تا نزدیک. تغییراتی که بازتاب تغییرات در فعالیتهای شناختی است در مقایسه با تغییرات ناشی از بازتاب نور و انعکاس اشیاء نزدیک، نسبتاً اندک است و علاوه بر آن تغییر در نور نسبتاً سریع تر تغییرات مردمکی را در بر خواهد داشت. بنابراین، اگر اشیاء دارای عمق تقریباً ثابت در قسمت دیداری کاربر (بیمار) باشند، ما می‌توانیم داده‌های فرکانس پایین مردمک را استفاده کنیم.

پس از دهه‌ها بررسی و مطالعه تغییرات مردمک هنوز محققان در منشا آن توافق ندارند، عده‌ای بر این باورند که منشا آن فشار ذهنی است و گروه دیگر برانگیختگی عاطفی را دلیل این تغییرات می‌دانند. مشاهدات تجربی نشان می‌دهند مردمک در مواجهه با تصاویر و صداهاى بیشتر برانگیخته‌تر می‌شود، صرف نظر از بار احساسی ذاتی آن. یک پژوهش اولیه روی بار احساسی و شناختی سعی بر ثابت نگه داشتن بار شناختی و ترکیب چند بار شناختی نمود نتیجه آن بود که بار شناختی تغییرات بیشتری در مردمک چشم ایجاد می‌کند. [۲۸] پاسخ مردمک به عنوان یک واکنش غیرارادی رخ می‌دهد. گشادی مردمک یک سیگنال فیزیولوژیکی است که تغییراتش بسته به فعالیت‌های خودکار سیستم عصبی در دستگاه عصبی پیرامونی است. قطر مردمک چشم می‌تواند بین ۱/۵ تا ۸ میلیمتر تغییر کند. روان‌شناسان در بیش از دو دهه اخیر، تأکید دارند تغییرات قطر مردمک، پردازش شناختی پرتلاشی را همراه دارد. پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهند که مردمک بیننده هنگامی که سختی کار و تلاش شناختی فرد برای پاسخ به آن افزایش می‌یابد، گشاد می‌شود. مطالعه‌های زیادی اعتبار این استدلال را در کارهای مختلفی شامل مطالعه، حل مسئله و کارهای دیداری تأیید کرده‌اند. [۴۴] همچنین پورتا و همکارانش، کاهش اندازه قطر مردمک در آستانه‌ی پایان کار در آزمایش خود را

⁷²Saccade Amplitude

⁷³Pupil dilation

به عنوان نشانه‌ای نهفته برای خستگی قلمداد کرده‌اند. [۴۹] علاوه بر فرآیندهای شناختی، تغییرات در روشنایی محیط تغییرات در اندازه قطر مردمک را در پی دارد. با تاریکتر شدن محیط، مردمک چشم برای کسب نور بیشتر گشاد و با روشنایی بیشتر محیط، تنگ می‌شود. کنترل روشنایی محیط و درخشندگی نمایشگر یک چالش جدی در شرایط آزمایشگاهی است که تغییرات در قطر مردمک را مطالعه می‌کند. [۴۴] به این ترتیب، افزایش بار شناختی باعث گشادی مردمک چشم خواهد شد.

۴.۵.۴ پلک زدن

چشم‌ها با هدف کاربری ۲ تا ۴ بار در دقیقه پلک می‌زنند. اهداف غیر کاربردی دیگری مثل پلک‌زدن انعکاسی (یک پاسخ محافظ، مثل نزدیک شدن ناگهانی اشیاء به سمت چشم)، پلک‌زدن ارادی، پلک‌زدن درونی (غیر آگاهانه رخ می‌دهد) و بسیاری از پلک‌زدن‌های ما از این نوع است که توسط سیستم عصبی مرکزی کنترل می‌شود و با شناخت ما ارتباط دارد. در نتیجه این نوع از پلک‌زدن‌ها برای اندازه‌گیری بار شناختی استفاده می‌شود.

یک یافته نشان می‌دهد با افزایش تمرکز برای دریافت اطلاعات بیشتر از محرک نرخ پلک‌زدن کاهش می‌یابد دیدگاه دیگری در مقابل بیان می‌کند که پلک‌زدن مکانیزمی جهت آزادسازی و آسودگی است به طور مثال در هنگامی که به چیزی فکر نمی‌کنید و یا پایان آزمایش به ندرت پلک می‌زنید زیرا فشار ذهنی در هنگام حل مسئله بوده است. هنگامی که فشار ذهنی نتواند نمود درونی یا بیرونی پیدا کنید میزان پلک‌زدن افزایش می‌یابد. باید سعی کنیم از طولانی بودن پنجره زمانی پلک‌زدن مطمئن شویم تا بتوان تغییرات محسوس در هنگام اجرای آزمایش پیدا نمود. [۲۸]

نرخ و تأخیر در پلک‌زدن^{۷۴} می‌تواند یک معیار رهگیری چشم دیگر در ارتباط با بار شناختی باشد. حرکت پلک‌ها توسط دستگاه عصبی مرکزی^{۷۵} کنترل می‌شود. پلک‌زدن، هرچند می‌تواند ارادی هم باشد، یک حرکت غیرارادی در نظر گرفته می‌شود. نرخ و تأخیر پلک‌زدن‌ها، می‌تواند در فهم عمیق درباره حالت توجه بیننده کمک کند. [۴۴] به عنوان مثال، تأخیر زیاد و نرخ کم پلک‌زدن به عنوان شاخصی برای تلاش ذهنی زیاد دانسته شده است. [۴۶] همچنین مانوئل و همکارانش، دریافتند که افزایش نرخ پلک‌زدن و کاهش سرعت آن و نیز کاهش میزان باز بودن پلکها، نشانه‌هایی برای افزایش خستگی هستند. [۴۷] بر اساس این یافته‌ها، می‌توان گفت: افزایش

⁷⁴Blink rate

⁷⁵central nervous system (CNS)

بارشناختی با کاهش نرخ پلک زدن و افزایش تأخیر در پلک زدن نسبت مستقیم دارد. همچنین ممکن است بین بار شناختی و سرعت پلک زدن نیز رابطه‌ای وجود داشته باشد.

۵.۵.۴ ریزپرش چشم

ریزپرش چشم^{۷۶} یکی دیگر از حرکات‌های چشم است که توسط دستگاه ردیاب چشمی اندازه‌گیری می‌شود. ریزپرش‌ها غیر ارادی هستند همانند پرش با دامنه کم هستند و در حالتی که چشم سعی در تثبیت دارد رخ می‌دهند. [۵۰] از جمله ویژگی‌های مثبت این معیار می‌توان به عدم حساسیت به میزان نور محیط اشاره کرد و دیگر آن که با توجه به واکنش سریع و حساسیت این نوع حرکت می‌توان آن را در اندازه‌گیری بارشناختی به صورت همزمان استفاده نمود.

۶.۵.۴ دنبال کردن روان

دنبال کردن روان^{۷۷} اجازه می‌دهد چشم‌ها با فاصله نزدیکی یک شیء متحرک را دنبال کنند. به بیانی دیگر راهی برای تغییر مکان خیرگی است. کاربر نمی‌تواند دنبال کردن روان را ارادی و به طور ساختگی انجام دهد چرا که نیاز است چشم‌ها به یک شیء متحرک قفل شوند و آن را دنبال کنند. نتایج آزمایش‌ها نشان داده با افزایش سختی آزمایش شیء با دقت و نظم کمتری دنبال می‌شود. در شکل ۱۳ می‌توانید نمونه نتیجه دنبال کردن روان را در دو حالت بار شناختی زیاد و کم مقایسه کنید.

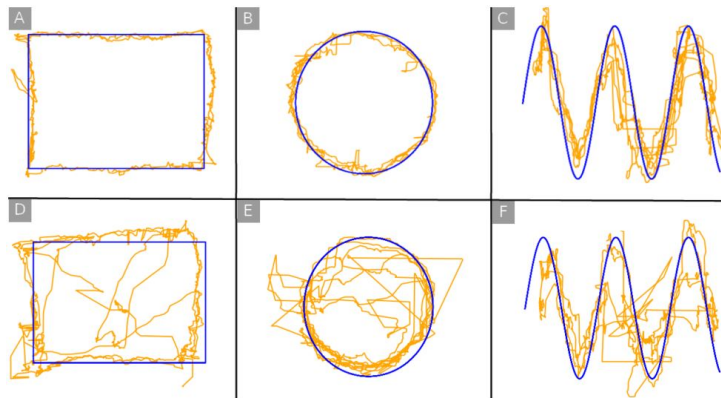
۶.۴ معیارهای سیگنال مغزی

ای‌ای‌جی یک روش محبوب تصویر برداری عصبی^{۷۸} است و با استفاده از الکترودهای قرار گرفته بر روی سر به اندازه‌گیری فعالیت‌های الکتریکی مغز می‌پردازد. سنجش به کمک دستگاه ای‌ای‌جی به دلیل ثبت لحظه‌ای و پیوسته سیگنال‌های مغزی و می‌تواند به خوبی نشان دهنده کوچکترین تغییرات در بارشناختی بر اثر انجام آزمایش‌های مختلف باشد، از این رو استفاده از آن بسیار امیدوار کننده است. در ادامه فرایندهای ثبت و تحلیل و سپس معیارهای استخراج شده از آن برای سنجش بار شناختی بررسی می‌شود.

⁷⁶Microsaccade

⁷⁷Smooth Pursuit

⁷⁸Neuroimaging



شکل ۱۳: خطوط آبی مسیری است که شیء متحرک روی آن حرکت کرده و خطوط نارنجی مسیر دنبال کردن روان چشم است. ردیف بالایی حالتی است که کاربر بارشناختی کمی داشته و ردیف پایینی بار شناختی بالا

۱۰۶.۴ باندهای مختلف سیگنال مغزی

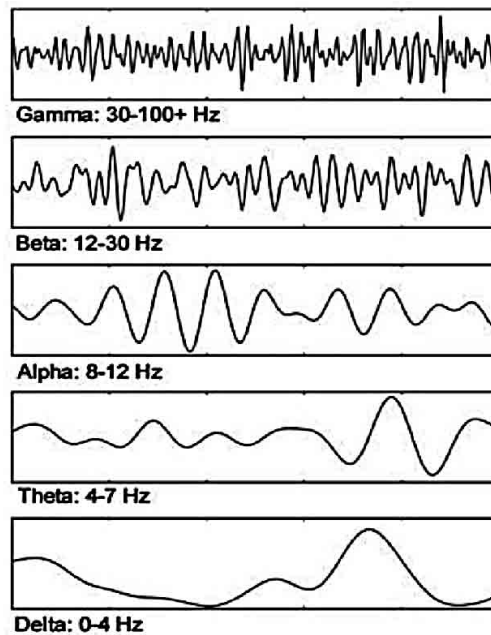
با توجه به فرکانس‌های امواج مغز آن‌ها را به پنج دسته یا باند تقسیم کرده‌اند. در شکل ۱۴ می‌توانید نمونه این پنج دسته را مشاهده کنید. از این میان دو باند به دشواری فعالیت گزارش شده‌اند، آلفا و تتا. معمولاً چگالی طیف توان^{۷۹} هر باند محاسبه می‌شود و سپس از آن برای مطالعه آزمایش مورد نظر استفاده می‌شود.

مغز انسان در حالات مختلف مانند بیداری، خواب و یا خشم فرکانس‌های متفاوتی از خود بروز می‌دهد همچنین ویژگی‌های این امواج با تغییر سن نیز تغییر می‌کنند. در ادامه به صورت جداگانه به بررسی هریک از باندهای مغز می‌پردازیم.

امواج گاما - γ

فرکانس ریتم یا امواج گاما در محدوده بین ۳۰ تا ۱۰۰ هرتز قرار دارد. این امواج با ورودی‌های حسی و همچنین حافظه و توجه مرتبط هستند. در برخی از تحقیقات، فعالیت‌های غیرمعمول در امواج گاما، برای بیماری‌هایی چون پارکینسون و صرع و آلزایمر گزارش شده‌است. همچنین در اختلال‌های خلقی مثل افسردگی عمده و اختلال دوقطبی نیز دیده شده است.

⁷⁹Power Spectral Density



شکل ۱۴: پنج باند فرکانس مغزی از بیشترین فرکانس در ردیف اول تا کمترین فرکانس در ردیف آخر نمایش داده شده است

امواج بتا - β

این امواج در فرکانس بین ۱۲ تا ۳۰ هرتز قرار دارند. باند بتا نمایانگر حالتی در مغز هستند که در هوشیاری معمول اتفاق می افتند. در فعالیت هایی مانند تفکر و یا توجه فعال، تمرکز، حل مسئله در بزرگسالان نرمال وجود دارد. این امواج در نواحی جلویی و مرکزی مغز وجود دارند، سطح بالای آن می تواند نشان دهنده وحشت باشد.

امواج آلفا - α

معمولا فرکانس این امواج در ناحیه ۸ تا ۱۲ هرتز قرار دارد. این امواج معمولا با بسته شدن چشم ها در حالت استراحت، آرامش و خواب سبک ظاهر می شوند و در حالت خواب عمیق و یا اضطراب از بین می روند. میان افراد خلاق و سایرین در این ریتم تفاوت دیده شده است؛ به نحوی که در هنگام حل یک مسئله جدید هستند و ایده جدیدی دارند در نیمکره چپ مغز خود امواج آلفای بیشتری نسبت به بقیه تولید می کنند. این امواج معمولا در قسمت آکسیپیتال ظاهر می شوند.

امواج تتا - θ

عموما این امواج در فرکانس ۴ تا ۷ هرتز قرار دارند. این امواج معمولا در هنگامی که هوشیاری به سمت خواب آلودگی می رود ظاهر می شوند. این امواج به سادگی در قسمت هیپوکمپوس^{۸۰} مشاهده می شوند البته ممکن است در سایر نواحی با احساسات مختلف نیز ظاهر شوند. در آزمایش هایی که حافظه کوتاه مدت را مورد بررسی قرار می دهند نیز دیده شده است. [۵۱]

امواج دلتا - δ

امواج دلتا در محدوده بیشتر از صفر تا ۴ هرتز قرار می گیرند. این ریتم را به حالت خواب عمیق و آرام نسبت داده اند. ممکن است با نوین امواجی که از حرکت عضلات فک و گردن تولید می شوند اشتباه گرفته شود که البته به کمک نرم افزارهای پردازش داده های مغزی میتوان آن ها را از یکدیگر تمیز داد. در بیماری های چون اسکیزوفرنی و پارکینسون نیز ظهور این امواج دیده شده است.

۲.۶.۴ استفاده از تغییرات، بجای قدرت سیگنال

در پژوهش هایی که از داده های ای ای جی استفاده می کنند معمولا از تغییرات سیگنال حاصل شده از یک کار یا فعالیت خاص بجای قدر مطلق قدرت^{۸۱} آن سیگنال استفاده می کنند. دلیل این امر آن است که مشاهدات نشان داده اند رفتار امواج مغزی با توجه به تفاوت های فردی، حجم مغز و سن افراد تفاوت پیدا می کند. از این رو از معیار event related de-synchronization یا به اختصار ERD/ERS استفاده می کنند. معمولا در آزمایش و فعالیت های پژوهشی که داده مغزی گرفته می شود حاتی را نیز در نظر می گیرند که از او هیچ کاری نمیخواهند و فعالیتی انجام نمی دهد به این حالت باز پایه یا مرجع^{۸۲} می گویند. ERD/ERS طبق رابطه ۲ تعریف می شود.

(۲)

$$ERD/ERS\% = \frac{\text{power band interval test} - \text{power band interval baseline}}{\text{power band interval baseline}} \times 100$$

رابطه ۲ را می توان اینگونه توضیح داد که ERD/ERS نشان دهنده درصد افزایش یا کاهش قدرت باند در طول بازه مد نظر نسبت به بازه پایه. این شاخص برای دو باند آلفا و تتا در بسیاری از

⁸⁰hippocampus

⁸¹Absolute power

⁸²Baseline

آزمایش‌های شناختی حساس نسبت به سطح دشواری کار است.

۷.۴ مزایا و معایب استفاده از سیگنال‌های مغزی

نقاط قوت اکثر روش‌های ثبت و سنجش فعالیت‌های مغزی یا نیازمند تجهیزات گران قیمت و پیشرفته که جهت کار با آنها نیاز به دانش پزشکی هستند و یا کار با آنها برای آزمایش‌دهنده آسان نیست. همانند برش‌نگاری با گسیل پوزیترون^{۸۳} که نیازمند خوردن مواد خطرناک توسط آزمایش‌دهنده هستند یا دستگاه fMRI که فرد باید در حالت دراز کشیده بدون حرکت باشد، با این حال دستگاه‌های ثبت سیگنال مغزی بسیار کوچک‌تر و حتی نسخه‌های قابل حمل آن نیز موجود می‌باشد و تنها نیازمند به شرایط معمول آزمایش‌گاهی است.

ثبت سیگنال مغزی به وسیله ای‌ای‌جی از دقت زمانی بسیار خوبی (میلی ثانیه) بهره می‌برد از این رو میتوان به صورت پیوسته کوچک‌ترین مداخلات شناختی را شناسایی و اندازه‌گیری کرد. نرم‌افزارهای قدرتمندی که در کنار این دستگاه‌ها استفاده می‌شوند توانایی خوبی در حذف و فیلتر کردن اثرات ناخواسته و یا نویزها را دارند.

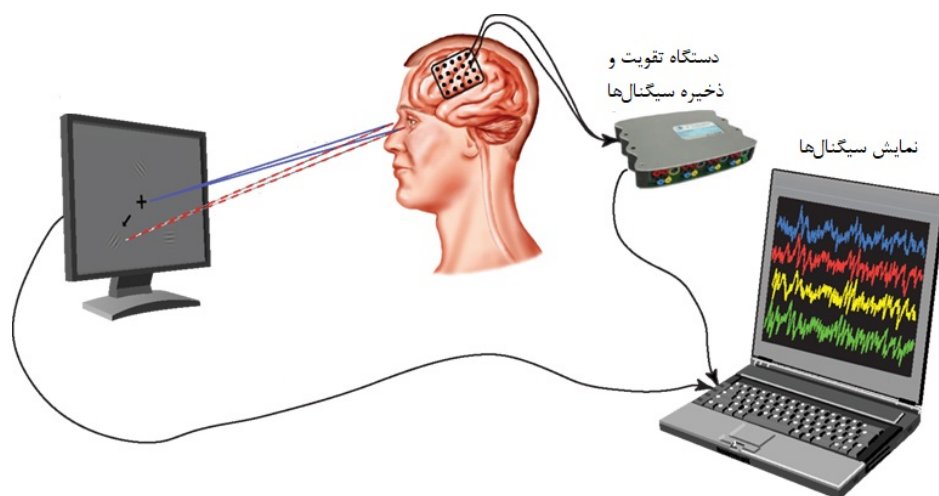
نقاط ضعف داده‌های EEG از دقت مکانی کمی برخوردار هستند (حدود سانتی متر) از این رو نمی‌توان به طور دقیق مکان فعالیت‌های مغزی را ثبت نمود. یکی دیگر از ضعف‌های داده‌های EEG نویز پذیر بودن آن است، این سیگنال‌ها می‌توانند به راحتی توسط حرکاتی چون: پلک زدن، نفس کشیدن، ضربان قلب، فرو بردن آب دهان و یا تکان خوردن سر تحت تاثیر قرار بگیرند که گاهی این سیگنال‌ها از فعالیت‌های عصبی قوی‌تر هستند. [۸]

۸.۴ ثبت سیگنال مغزی

همان گونه که در شکل ۱۵ مشاهده می‌کنید اجزا تشکیل دهنده دستگاه ثبت سیگنال مغزی از سه قسمت تقویت کننده، ذخیره کننده و نمایش دهند سیگنال‌ها تشکیل شده است.

وجود بافت‌های ضخیمی مثل، استخوان، ماهیچه و خون در مسیر عبور سیگنال‌های مغزی از محل تولید آن در قشر مغز تا محل قرارگیری الکترودهای گیرنده، اندازه این سیگنال‌ها به شدت ضعیف می‌شوند از این رو جهت قابل مشاهده و استفاده بودن آن‌ها از تقویت کننده‌هایی برای تقویت آن‌ها استفاده می‌شود. [۵۲] جهت ثبت با کیفیت بهتر سیگنال‌های مغزی میزان اتصال آن‌ها با پوست

⁸³Positron Emission Tomography - PET scan



شکل ۱۵: حسگرها داده‌های فعالیت های الکتریکی مغز را به تقویت کننده و ذخیره کننده سیگنال‌ها می‌فرستند و سپس توسط سیستم به نمایش در می‌آیند.

سراهمیت دارد از این روزها از ژل های مخصوصی جهت رسانایی بیشتر استفاده می‌شود. به جهت امکان مقایسه نتایج داده‌های EEG پژوهشگران، استاندارد تحت عنوان ۱۰-۲۰ که مکان الکترودها را روی قشرهای مختلف مغز مشخص می‌کند ایجاد شده است. عددهای ۱۰ و ۲۰ در نام این روش، بیانگر این موضوع هستند که فاصله بین دو الکتروود متوالی، همواره برابر با ۱۰٪ یا ۲۰٪ اندازه فاصله جلو-عقب سر یا فاصله راست تا چپ سر است. در این حالت تعداد الکتروودهای به کار رفته ۲۱ عدد است در برخی کاربردها تعداد بیشتر الکتروود نیز ممکن است. در این روش مکان هر الکتروود با دو کاراکتر مشخص می‌شود. کاراکتر نخست، که یک حرف انگلیسی است، بیانگر قسمتی از نواحی مغز است که الکتروود روی آن قرار می‌گیرد و کاراکتر بعدی که یک عدد است، بیانگر نیم کره راست و چپ مغز است. در جدول ۲ نمادها و معنای آنها را می‌بینید.

جدول ۲: نمادهای استفاده شده در استاندارد ۱۰-۲۰ التروانسفالوگرافی

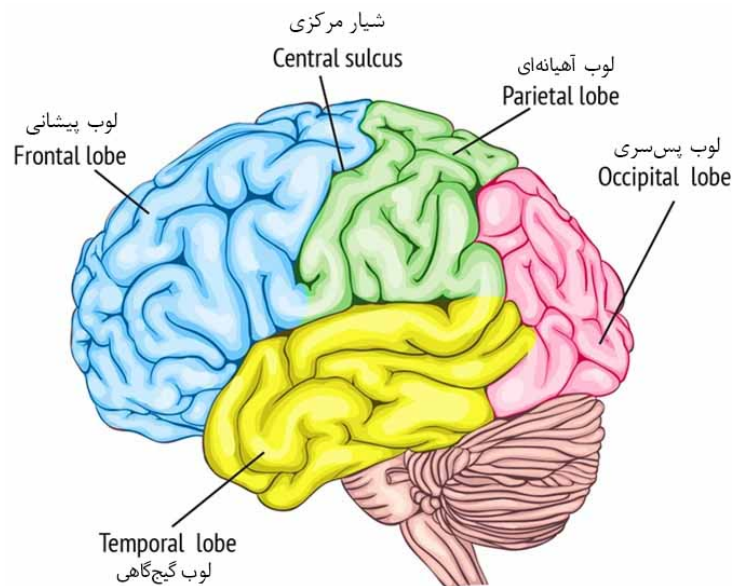
اعداد فرد	اعداد زوج	z	O	P	C	T	F	نماد
نیم کره راست	نیم کره چپ	فرق سر	پس سری	آهیانه‌ای	مرکزی	گیج‌گاهی	پیشانی	ناحیه مغز

در شکل ۱۷ محل قرارگیری الکتروودها و لوب‌های مغز را می‌بینید. به جهت پرهیز از اندازه‌گیری

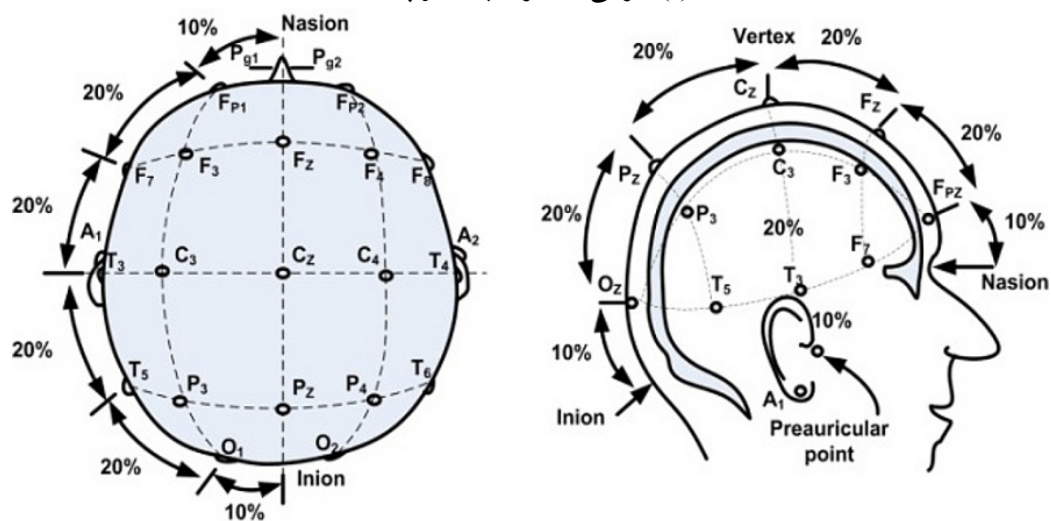
های وقت‌گیر و دقت بیشتر در اندازه‌گیری سیگنال‌های مغزی الکتروود ها را مطابق استاندارد ۱۰- ۲۰ می‌توان بر روی یک کلاه قرار داد، در این صورت با قرار دادن کلاه بر روی سر خودبه‌خود الکتروود ها در مکان مناسب قرار می‌گیرند. نمونه‌ای از آن را در شکل ۱۶ می‌بینید.



شکل ۱۶: استفاده از کلاه ثبت سیگنال مغزی به منظور اندازه‌گیری دقیق و ساده‌تر



(T) طرحی از مغز و چهار لوب آن



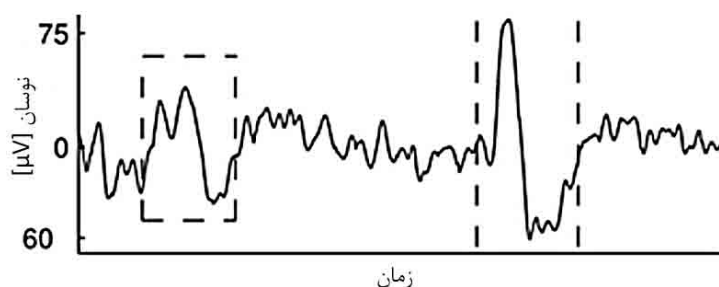
(ب) نقاط قرارگیری الکتوردهای دستگاه الکتروانسفالوگراف بر روی سر مطابق استاندارد ۱۰-۲۰

شکل ۱۷: مکان قرارگیری الکتوردهای دستگاه الکتروانسفالوگراف و لوب‌های مغز

۵ پردازش و موارد مطالعه داده‌های چشمی و مغزی در اندازه گیری بارشناختی

۱.۵ صاف کردن و حذف نویز از داده‌های سیگنال مغزی

در بخش ۷.۴ نویزهای مختلفی که می‌تواند بر سیگنال دریافتی اثر بگذارد را دیدیم، گاهی این نویزها به قدری شبیه به امواج مغزی هستند که حتی افراد متخصص و با تجربه نیز نمی‌توانند به سادگی آن‌ها را از سیگنال اصلی تشخیص دهند. نویزها را می‌توان با توجه به عامل تولید کننده آن به دو دسته فیزیولوژیکی و غیر فیزیولوژیکی تقسیم کنیم. از جمله نویزهای فیزیولوژیکی که منشأ آن حرکات بدن است می‌توان به پلک زدن، حرکت سر، حرف زدن، بلعیدن و فعالیت الکتریکی قلب اشاره نمود، در دسته دیگر توزیع برق شهری، جابه‌جایی التکرودها بر روی سر و نویز تجهیزات ثبت سیگنال مثال‌هایی از غیر فیزیولوژیک هستند. در شکل ۱۸ نمونه‌ای از نویز پلک زدن را مشاهده می‌کنید. جهت حذف نویز می‌توان ابتدا به صورت دستی فرکانس‌های بسیار بالا و پایین را حذف



شکل ۱۸: در قسمت‌های هاشور زده نمونه نویز پلک‌زدن مشخص شده‌است

نمود و سپس از ابزارهای آماده استفاده نمود. در فضای فرکانس با فیلتر بالا گذر^{۸۴} با فرکانس قطع ۵۰ هرتز می‌توان فرکانس نفس کشیدن را حذف نمود و برای اطمینان از حذف نویز برق شهری فرکانس ۵۰ هرتز با ناچ فیلتر^{۸۵} حذف می‌شوند. از آن‌جا که الگوهای نویزهای یک دسته شبیه به هم هستند ابزارهای هوشمندی چون جعبه ابزار کار با ای‌ای‌جی متلب به صورت خودکار آن‌ها را شناسایی کرده و حذف می‌کند.

^{۸۴}High Pass Filter

^{۸۵}Notch Filter

۲.۵ روش‌های استخراج ویژگی از داده‌های سیگنال مغزی

ویژگی را می‌توان یک خصوصیت متمایز، اندازه‌گیری قابل تشخیص و یک مولفه کاربردی دانست که از بخشی از یک الگو بدست بیاید. به استخراج بخش‌های مهم اطلاعات و حذف سایر قسمت‌های آن استخراج ویژگی می‌گویند. برای به حداقل رساندن از بین رفتن اطلاعات مهم تعبیه شده در سیگنال، از استخراج ویژگی استفاده می‌شود. علاوه بر این، ویژگی‌ها میزان منابع مورد نیاز برای توصیف دقیق مجموعه عظیمی از داده‌ها را ساده‌تر می‌کنند. ویژگی‌ها برای به حداقل رساندن پیچیدگی‌های پیاده‌سازی برای کاهش هزینه پردازش اطلاعات و به منظور رفع نیاز احتمالی برای فشرده‌سازی اطلاعات استفاده می‌شوند. [۵۳]

اخیراً روش‌های متنوعی برای استخراج ویژگی‌ها از سیگنال‌های EEG به‌کار گرفته شده است، از میان آن‌ها می‌توان به این تبدیل‌ها اشاره نمود:

- توزیع فرکانس زمان^{۸۶}

- تبدیل فوریه سریع^{۸۷}

- روش‌های مبتنی بر بردار ویژه^{۸۸}

- تبدیل موجک گسسته^{۸۹}

- روش خود همبسته^{۹۰}

به جهت استفاده بیشتر از دو روش تبدیل فوریه سریع و تبدیل موجک گسسته در ادامه شرح این دو روش را خواهیم دید.

۱.۲.۵ تبدیل فوریه سریع

سیگنال‌های EEG از شلیک یا اسپایک^{۹۱} همزمان نوروهای عصبی شکل می‌گیرد و در طبیعت از فعالیت‌های دنبال شونده در طیف گسترده‌ای از فرکانس تشکیل شده است از این رو معمولاً

⁸⁶time frequency distributions - TFD

⁸⁷fast fourier transform - FFT

⁸⁸eigenvector methods - EM

⁸⁹discrete wavelet transform - DWT

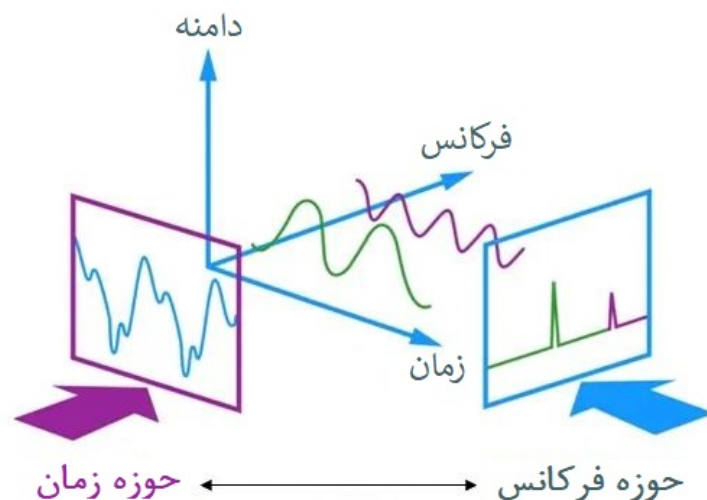
⁹⁰auto regressive method - ARM

⁹¹Spike

سیگنال‌های EEG را در فضای فرکانس تحلیل می‌کنند. [۵۴] در تبدیل فوریه، سیگنال مغزی که در حوزه زمان است را به حوزه فرکانس می‌بریم. این تبدیل مؤلفه‌های فرکانس‌های موهومی یک سیگنال در حالت کلی نامتناوب را استخراج و نمایان می‌کند، در واقع تبدیل فوریه یک سیگنال، وزن فرکانس‌های موهومی موجود در سیگنال را نشان می‌دهد. به تبدیل فوریه یک سیگنال، طیف سیگنال^{۹۲} نیز گفته می‌شود. رابطه (۳) تبدیل فوریه سیگنال زمان گسسته x_n را نشان می‌دهد.

$$X_K = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N} \quad (3)$$

که در آن N تعداد نمونه‌ها و n نمونه فعلی است. x_n نشان دهنده مقدار سیگنال در زمان n و k فرکانس فعلی (۰ هرتز تا $N-1$ هرتز) و X_k نتیجه حاصل از تبدیل فوریه گسسته است. محاسبه مستقیم تبدیل فوریه از رابطه (۳) کند بوده و زمان زیادی می‌برد از این رو از الگوریتم تبدیل فوریه سریع که به صورت بازگشتی و با تقسیم و غلبه کار می‌کند استفاده می‌کنند. شکل ۱۹ به درک بهتر این تبدیل کمک می‌کند. ولج^{۹۳} یک روش بدون پارامتر تخمین همبستگی خودکار^{۹۴}



شکل ۱۹: تبدیل فوریه یک سیگنال دلخواه را از فضای زمان و یا مکان به فضای فرکانس می‌برد. [۵۵]

است. سیگنال‌های ثبت شده توسط تخمین چگالی توان (PSD)^{۹۵} محاسبه می‌شوند. تا به صورت

^{۹۲}Signal Spectrum

^{۹۳}Welch

^{۹۴}autocorrelation

^{۹۵}power spectral density - PSD

انتخابی نمایانگر نمونه‌های ای‌ای جی باشند.

۲.۲.۵ تبدیل موجک گسسته

تبدیل فوریه تا زمانی که فرکانس‌های ظاهر شده در یک سیگنال وابسته به زمان نباشند به خوبی عمل خواهد کرد یا به عبارت دیگر اگر یک سیگنال شامل فرکانس x هرتز باشد، این فرکانس باید به صورت برابر در تمام طول سیگنال وجود داشته باشد. دسته‌ی زیادی از سیگنال‌ها در طبیعت که فرکانس آن‌ها در طول زمان تغییر می‌کند را نمی‌توان با تبدیل فوریه با دقت و رزولوشن خوبی مدل کرد. از جمله این سیستم‌های دینامیک می‌توان به داده‌های بازار بورس، بدن انسان و داده‌های برخی تجهیزات اشاره کرد. در این شرایط از تبدیل موجک که هم اطلاعات فرکانسی و هم اطلاعات زمانی را ذخیره می‌کند استفاده می‌کنیم.

بنابراین در حالت کلی می‌توان گفت تبدیل موجک به صورت توافقی عمل می‌کند. در مقیاس‌هایی که مشخصه‌های وابسته به زمان مهم‌تر هستند، تبدیل موجک دارای دقت بالاتر در حوزه زمان و در مقیاس‌هایی که مشخصه‌های وابسته به فرکانس مهم‌تر هستند، دارای دقت بالاتر در حوزه فرکانس است. این نوع توافق دقیقاً همان هدفی است که در پردازش سیگنال مورد نظر است.

تبدیل موجک سیگنال یک بعدی ای‌ای جی، دارای دو بعد است. این خروجی دو بعدی مربوط به تبدیل موجک، نمایش سیگنال اصلی بر حسب مقیاس و زمان است که به طیف اسپکتروگرام^{۹۶} یا اسکالوگرام^{۹۷} معروف است. تبدیل موجک انواع متفاوتی دارد. برای انواع مختلف تبدیل موجک، مصالحه بین فشردگی^{۹۸} و صاف بودن^{۹۹} با یکدیگر تفاوت دارند. به عبارت دیگر این خاصیت بیان می‌کند که می‌توانیم نوع خاصی از تبدیل موجک را انتخاب کنیم که با ویژگی مورد نظر برای استخراج از سیگنال تناسب بیشتری داشته باشد. یکی از انواع معرف آن هار^{۱۰۰} است. روند کار در تبدیل موجک را در شکل ۲۰ مشاهده می‌کنید. در سطح صفرم ما یک سیگنال داریم و آن‌را در سطح اول به دو بخش تقریب^{۱۰۱} و جزئیات^{۱۰۲} سیگنال تقسیم می‌کنیم. معمولاً انتظار داریم نويز در بخش جزئیات باشد چون معمولاً فرکانس نويز بالا است، تقریب اول شباهتش به

⁹⁶Spectrogram

⁹⁷Scaleogram

⁹⁸Compact

⁹⁹Smooth

¹⁰⁰Haar

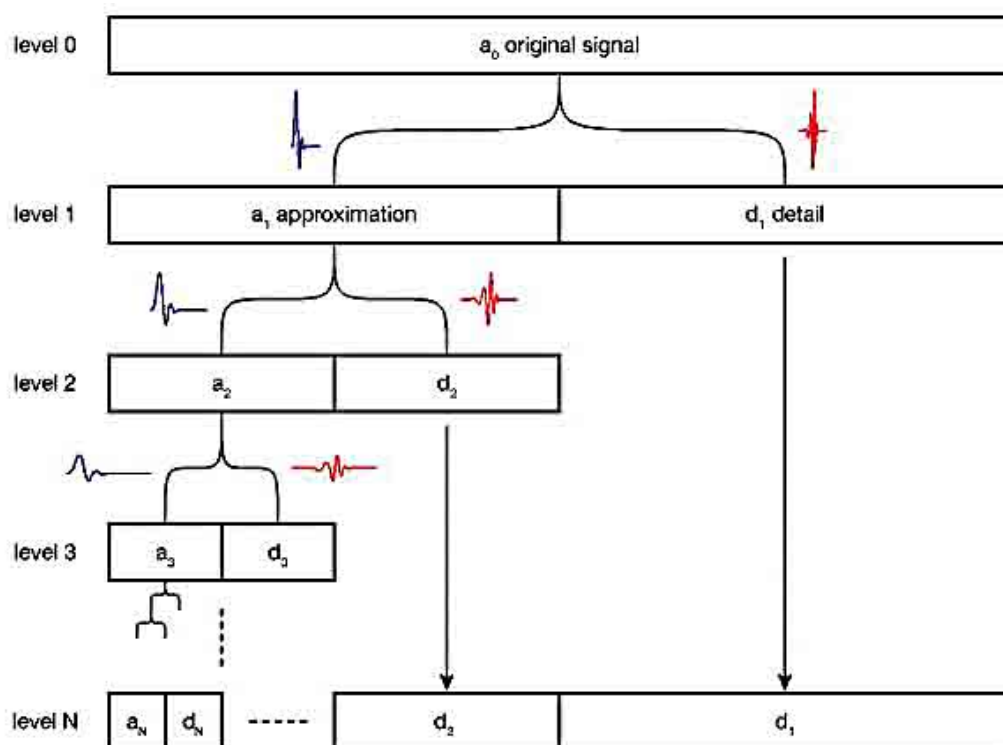
¹⁰¹Approximation

¹⁰²Detail

سیگنال اصلی بیشتر است، از این رو می‌توان همان گونه که سیگنال اصلی را به دو بخش تجزیه کردیم تقریب اول را هم به دو بخش تقریب سطح دوم و جزئیات سطح دوم تجزیه می‌کنیم. این روند را تا جایی که جزئیات صفر و یا نزدیک به صفر شود انجام می‌دهیم. حال می‌توان سیگنال اصلی را با رابطه (۴) نشان داد. معمولاً اگر به خواهیم نویزی را حذف کنیم از d_1 حذف می‌کنیم.

$$S = d_1 + d_2 + \dots + d_N + a_N \quad (4)$$

اکنون به جای آنکه مستقیماً سیگنال اصلی را به الگوریتم خود که می‌تواند شبکه عصبی، سیستم فازی یا شبکه بیزی^{۱۰۳} باشد بدهیم، می‌توانیم ویژگی‌های استخراج شده یعنی d_1 تا d_N را بدهیم.



شکل ۲۰: بررسی اجمالی طرح تبدیل موجک گسسته، سیگنال اصلی به اجزای فرکانس پایین و فرکانس بالا تقسیم می‌شود، که به ترتیب تقریب سیگنال و اطلاعات جزئیات را تشکیل می‌دهند. هر سطح اطلاعات تقریبی را بیشتر تجزیه می‌کند، و هر سطح جزئیات یک باند فرکانس جداگانه را تشکیل می‌دهد [۵۶]

¹⁰³Bayesian network

جدول ۳: مقایسه مزایا و معایب دو روش تبدیل فوریه سریع و تبدیل موجک گسسته

نام روش	مزیت‌ها	معایب
تبدیل فوریه سریع	<p>- اغلب می‌تواند برای سیگنال‌های ایستا (میانگین و واریانس در طول زمان ثابت باشد) خوب عمل کند</p> <p>- برای کارهای بلادرنگ</p>	<p>برای سیگنال‌هایی که فرکانس آن در طول زمان تغییر کند مناسب نیست - نمی‌تواند پیک‌های موجود را با رزلوشن مناسبی نشان دهد</p>
تبدیل موجک	<p>تقریباً سریع تر از روش‌های دیگر است</p> <p>اندازه پنجره آن متغیر است - بین زمان و فرکانس مصالحه دارد - برای تجزیه و تحلیل سیگنال‌های دارای تغییرات ناگهانی مناسب است</p>	<p>- نیازمند انتخاب موجک مدار مناسب</p>

۳.۲.۵ مقایسه روش‌های استخراج ویژگی

در دو زیر بخش ۱.۲.۵ و ۲.۲.۵ به ترتیب با تبدیل فوریه سریع و تبدیل موجک آشنا شدیم در این قسمت قصد داریم تا این دو تبدیل را با هم مقایسه و مزایا و معایب هریک را عنوان نماییم. استفاده مناسب از هر کدام می‌تواند راه حل خوبی باشد. در جدول ۳ می‌توانید مقایسه این دو روش را مشاهده نمایید.

۳.۵ موارد مطالعه‌ی استفاده از داده‌های مغزی در سنجش بارشناختی

در این زیر بخش به تعدادی پژوهش برجسته که در آن‌ها رابطه میان بارشناختی و سیگنال مغزی بررسی شده است خواهیم پرداخت. از میان آن‌ها نیز پژوهش‌هایی که به طور خاص با آزمایش‌ها و فعالیت‌هایی که محرک آن‌ها چند رسانه‌ای است در این مرور نقش مهم‌تری دارند.

جرؤ و همکاران [۵۷] به بررسی بارشناختی حاصل یادگیری از چندرسانه‌ای از طریق سیگنال‌های مغزی پرداختند. در آزمایش آن‌ها که ۳۸ دانش‌آموز مشارکت داشتند ۱۹ نفر مستعد و ۱۹ نفر معمولی. سه دسته محرک نمایش داده شد. متن؛ متن، تصویر و صدا؛ متن، صدا و فیلم و در این حال امواج مغزی آن‌ها ثبت می‌شد. در طول نشان دادن متن مشاهده شد که توان باند آلفا بیشترین دامنه (فعالیت ذهنی کمتر) را در لوب‌های پس‌سری و گیج‌گاهی دارد و دامنه کم آن (فعالیت ذهنی بالاتر) در لوب پیشانی دیده شد. همچنین آن‌ها دیدند که دانش‌آموزان مستعد در هر سه محرک فعالیت ذهنی کمتری دارند.

یزدانی و همکاران [۵۸] به معرفی یک واسطه رایانه مغز پرداختند که می‌تواند به صورت ضمنی محتوای چندرسانه‌ای را از لحاظ احساسات مختلف برچسب بزند؛ به طوری که حتی داده‌های فردی که هنوز در آزمایش شرکت نکرده بود نیز به خوبی قابل پیش‌بینی بود. در آزمایش آن‌ها نیز ۹ دانشجوی دکتری شرکت کرده بودند و از آن‌ها داده‌های سیگنال مغزی در حالی که چندرسانه‌ای را نگاه می‌کردند گرفته می‌شد.

کاسترو و همکاران [۵۹] به اعتبارسنجی باند تتا به عنوان یک معیار عینی برای اندازه‌گیری بارشناختی در فیلم‌های آموزشی پرداختند. آن‌ها سه متن با سختی‌های متفاوت تولید کردند که یک راوی آن‌ها را می‌خواند. از شرکت کنندگان علاوه بر داده‌های مغزی و پرسشنامه فعالیت ذهنی، آزمون یادآوری نیز گرفته می‌شد. آن‌ها مشاهده کردند باند تتا و آزمون یادآوری برای ساده‌ترین و سخت‌ترین به خوبی می‌توانند تمیز دهنده این دو وضعیت باشند.

آن‌ها فیلم‌های سخنرانی خود را به کمک دو معیار سطح بندی کردند. معیار اول سهولت خواندن^{۱۰۴} بود. این معیار خوانایی متن را با شمارش تعداد هجاها، کلمات و جملات انجام می‌دهد. خروجی آن یک عدد بین صفر تا صد است که هرچه بیشتر باشد نشان دهنده ساده‌تر و خوانایی بیشتر متن است. معیار دوم سهولت نحوی^{۱۰۵} بود. این معیار بر اساس چگالی عبارات اسمی، گروه معنایی کلمه‌ها و کلاس یک کلمه یک خروجی عددی می‌دهد که هرچه این عدد بزرگتر باشد نشان دهنده ساده‌تر بودن آن است. در آزمایش آن‌ها نیز ۳۵ نفر شرکت کرده بودند.

آنتنکو و نایدرهاوسر [۳۲] به بررسی بارشناختی حاصل از مطالعه متون حاوی هدایت‌گر از طریق سیگنال مغزی پرداختند. تفاوت میان متن معمولی و متن دارای هدایت‌گر در این است که در متن معمولی اگر خواننده به مفهومی برخورد کند که معنای آن را نداند باید از حافظه بلند مدت خود آن را به حافظ فعال فراخوانی و یادآوری کند از طرفی دیگر ساختمان و چینش مفاهیم دست نویسنده متن است. این در حالی است که در متن شامل هدایت‌گر خواننده هرگاه به مفهومی برخورد کند که معنای آن را نمی‌داند می‌تواند به عنوان مثال نشان‌گر موس را بر روی کلمه مورد نظر قرار دهد بعد از آن مفاهیم کلی مرتبط با آن برای مدت کوتاهی بر روی صفحه ظاهر می‌شوند.

در آزمایش آن‌ها که ۲۰ نفر شرکت کرده بودند، و علاوه بر داده‌های مغزی رفتار آن‌ها با سیستم به وسیله یک نرم افزاری که از صفحه به صورت مداوم تصویر برداری می‌کرد نیز ذخیره شد. به دلیل آنکه توجه بر اثرات حضور و عدم حضر هدایت‌گر بود در حالت بدون هدایت گر ۱۰ ثانیه اول

¹⁰⁴reading ease

¹⁰⁵Syntactic simplicity

شروع کار متن بررسی و در حالتی که هدایت گر وجود داشت ۱۰ ثانیه نخست پس از مشاهده اولین هدایت گر بررسی شد. با مقایسه نتایج پرسشنامه‌ای که خود شرکت‌کنندگان در رابطه بار شناختی خود اظهار نظر می‌کردند و داده‌های مغزی دیده شد که افراد در پرسش‌نامه نتوانستند به خوبی بین متن شامل هدایت‌گر و بدون هدایت گر تمیز قائل شوند، در طرف مقابل داده‌های مغزی به وضوح میان این دو حالت تفاوت قائل شده بود.

دَن و همکاران [۶۰] با آزمایش بر روی ۱۷ نفر قصد داشتند تا صفحات نمایشگر دو بعدی مثل نمایشگرهای کامپیوتر، موبایل و تلویزیون را با نمایشگرهای سه بعدی در بارشناختی ایجاد شده از طریق اندازه‌گیری سیگنال‌های مغزی اندازه‌گیری کنند. فعالیت آن‌ها کاغذ و تا بود. در یک مرحله ساخت یک اوریگامی را بر روی نمایشگر دو بعدی می‌دیدند و در مرحله دیگر دقیقاً ساخت همان اوریگامی را اما این با یک پروژکتور سه بعدی نگاه می‌کردند. از میان باندهای مغزی باند آلفا و تتا نیز ذخیره شد. در میان شرکت‌کنندگان افرادی که توانایی کمتری در استعدادی فضایی و مکانی داشتند از نمایشگرهای سه بعدی منفعت بیشتری بردند.

مظاهر و همکاران [۶۱] قصد داشتند با استفاده از استخراج ویژگی و انسجام جزئی‌گرا^{۱۰۶} بر روی داده‌های سیگنال مغزی برای آزمایش چندرسانه‌ای بارشناختی را اندازه‌گیری کنند. داده‌ها از ۳۴ شخص سالم با یک دستگاه الکتروانسفالوگرافی ۱۲۸ کاناله با نرخ فرکانس ۲۵۰ هرتز ذخیره کردند. در قسمت اول آزمایش برای ثبت سیگنال پایه^{۱۰۷} از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شد تا چشم‌هایی خود را ببندند و در حالت آرامش باشند. در قسمت دوم آزمایش به آن‌ها ۳ فیلم که از پیش تهیه شده و در سه سطح سختی متفاوت بودند نمایش داده می‌شد. پس از آن در طی ۳۰ ثانیه از آن‌ها آزمون یادآوری و فراخوانی حافظه گرفته می‌شد.

آن‌ها به دلیل ماهیت غیرایستا بودن سیگنال‌های مغزی بر خلاف اکثر پژوهش‌های گذشته که از تبدیل فوریه سریع استفاده می‌کردند از تبدیل موجک گسسته استفاده کردند. به منظور تجزیه و تحلیل اتصالات مغزی از انسجام جزئی‌گرا یا به اختصار PDC استفاده کردند.

فرض کنید دو سیگنال (یا فرآیند تصادفی) X و Y داشته باشیم از هر کدام مشاهدات گسسته $x(t)$ و $y(t)$ موجود باشد و $t = 1, 2, \dots, N$. ارتباط توأمان این دو سیگنال می‌تواند توسط مدل‌های

¹⁰⁶Partial Directed Coherence - PDC

¹⁰⁷base line

دو متغیره خودکاهشی^{۱۰۸} توصیف شود.

$$x(t) = \sum_{k=1}^q a_{11,k}x(t-k) + \sum_{k=1}^q a_{12,k}y(t-k) + e_x(t) \quad (5)$$

$$y(t) = \sum_{k=1}^q a_{21,k}x(t-k) + \sum_{k=1}^q a_{22,k}y(t-k) + e_y(t) \quad (6)$$

مدل‌های خطی (۵) و (۶) می‌توانند با تبدیل فوریه به صورت ماتریسی و در حوزه فرکانس نوشته شوند.

$$\begin{pmatrix} A_{11}(f) & A_{12}(f) \\ A_{21}(f) & A_{22}(f) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X(f) \\ Y(f) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_x(f) \\ E_y(f) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\pi_{X \rightarrow Y}(f) = \sum_{k=1}^q a_{21,k}x(t-k) \frac{A_{21}(f)}{\sqrt{|A_{11}(f)|^2 + |A_{21}(f)|^2}} \quad (8)$$

$\pi_{X \rightarrow Y}$ قدرت اتصال نسبی تعامل از یک منبع سیگنال مانند X به یک سیگنال دیگر مانند Y را توصیف می‌کند؛ در مقایسه (یا نرمال شده) با تمام اتصالات منبع به سیگنالهای دیگر. برای یک سیستم دو متغیره یک تعامل یک طرفه به صورت A_{21} نشان داده شده و نرمال سازی شده توسط عبارات مربوط به x در مدل ARX مثل A_{11} و A_{21} . مقدار PDC بین صفر و یک خواهد بود. در نهایت آن‌ها میان امواج آلفا و بار شناختی از طریق قوانینی که بیان کرده بودند رابطه پیدا کردند.

۴.۵ موارد مطالعه‌ی استفاده از داده‌های چشمی در سنجش بار شناختی

دارل رادمن و همکاران [۶۲] با نشان دادن تصویر چند چرخ‌دنده متصل بهم در تعداد و حالت‌ها مختلف از شرکت کنندگان می‌خواستند تا جهت چرخش هر یک از آنها را مشخص کند و با ذخیره داده‌های چشمی شرکت کنندگان به بررسی رابطه میان داده‌های چشمی و بار شناختی پرداختند. مطالعه‌های آنها نشان داده است که، در یک کار ساده، رفتار چشم تمایل دارد دنباله مورد انتظار از یک مدل مبتنی بر تحلیل وظیفه شناختی را دنبال کند. حال تحلیل و دسته‌بندی زمان‌هایی که کاربران این دنباله را متوقف کرده و به جای دیگر نگاه می‌کنند می‌تواند، وضعیت شناختی افراد را بیان نماید. در این بررسی آنها رابطه‌ای پیدا نکردند شاید به دلیل اینکه آزمایش دهندگان به خوبی

¹⁰⁸bivariate autoregressive - ARX

با شرایط آزمایش خو نگرفته و آموزش ندیده بودند.

در تجربه دوم که به بررسی این فرضیه می پرداخت که شرکت کنندگان به چیزی فکر می کنند که به آن نگاه می کنند، در این آزمایش در میانه تصویر صفحه را قطع می کردند و از آنها می خواستند تا به هرچه فکر می کنند را اعلام نمایند. نشان داده شد در اکثر موارد هرگاه کاربران به شیئی در تصویر خیره می شوند همان را گزارش می دهند.

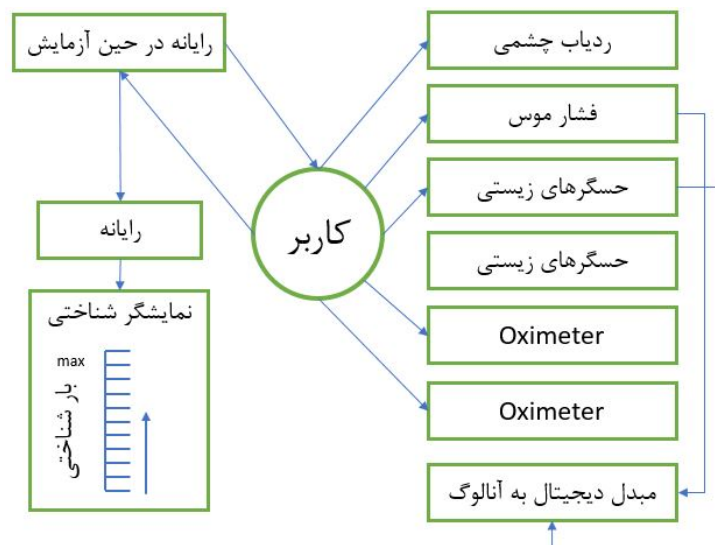
در کار دیگری مانوئل گارسیا بروس و همکاران، [۶۳] به ارائه ی چارچوبی برای یادگیری الکترونیکی با ردیاب چشمی پرداختند. آنها با چهار معیار تعداد و سرعت پرش چشمی و تعداد و مدت زمان تثبیت چشم مدلی انطباقی برای یادگیری الکترونیکی معرفی کردند، این مدل که در سمت معلم به کتابخانه ای از اطلاعات و محتواها متصل بود، با توجه به سطح بار شناختی یادگیرنده متحوای مناسب را تهیه می کند، از این رو یادگیری اثربخش تری برای یادگیرنده رخ می دهد.

کهارا و کروسبی [۶۴] با داده گرفتن از ۱۳ دانشجوی بین ۱۸ تا ۲۱ سال نیروی هوایی آمریکا به بررسی داده های چشمی پرداختند. آنها کسرهای متحرک یا به اختصار MTF^{۱۰۹} را بررسی کردند. در این آزمایش تعداد ثابتی بیضی در صفحه نمایش داده می شود که شامل یک کسر است. این بیضی به صورت تصادفی در قسمتی از چپ تصویر نمایش داده می شوند و پس از مدتی به سمت راست صفحه منتقل می شوند. و از کاربر خواسته می شود تا آنهایی را که بیش از ۱/۳ هستند را پیش از آنکه به راست صفحه منتقل شود، مشخص کند.

مشاهده شد که میان سختی آزمایش و داده های چشمی ارتباط وجود دارد و داده های چشمی به وضوح می تواند سطح سختی آزمایش را مشخص کند آنها به طور خاص زمان تثبیت و میزان حرکت چشم در بازه های زمانی را معیار گرفته بودند. همچنین بیان کردند که هنگامی که اجزا موجود در تصویر حرکت می کنند و مکانشان نامشخص است اندازه گیری نیز پیچیده می شود. در شکل ۲۱ سیستم آزمایش آنها نمایش داده شده است.

چن و همکاران [۶۵] با ۱۲ بسکتبالیست غیرحرفه ی ۱۹ تا ۳۶ سال که مبلغی نیز به آنها پرداخت شده بود سعی در اندازه گیری بار شناختی آنها با ۸ داده چشمی داشتند. آزمایش آنها یک برنامه کامپیوتری یادگیری بود، که به کاربر استراتژی بازی را با مشخص کردن مدافعان و مهاجم ها و مکانشان نسبت به توپ آموزش می داد. هشت متغیر وابسته برای اندازه گیری فشار ذهنی استفاده شدند. شامل: تاخیر در پلک زدن، نرخ پلک زدن، میانگین اندازه مردمک چشم بین ثانیه دوم و انتهای بازی، انحراف معیار در ثانیه چهارم، زمان تثبیت، نرخ تثبیت، اندازه پرش و سرعت پرش

¹⁰⁹Moving Trgets Fractions



شکل ۲۱: سیستم ها و جریان اطلاعات در آزمایش MTF

چشم. با توجه به تفاوت در بازه‌ی داده‌های کاربران آنها با رابطه (۹) در یک بازه قرار می‌دادند.

$$V_{cal} = \frac{V_{raw} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (9)$$

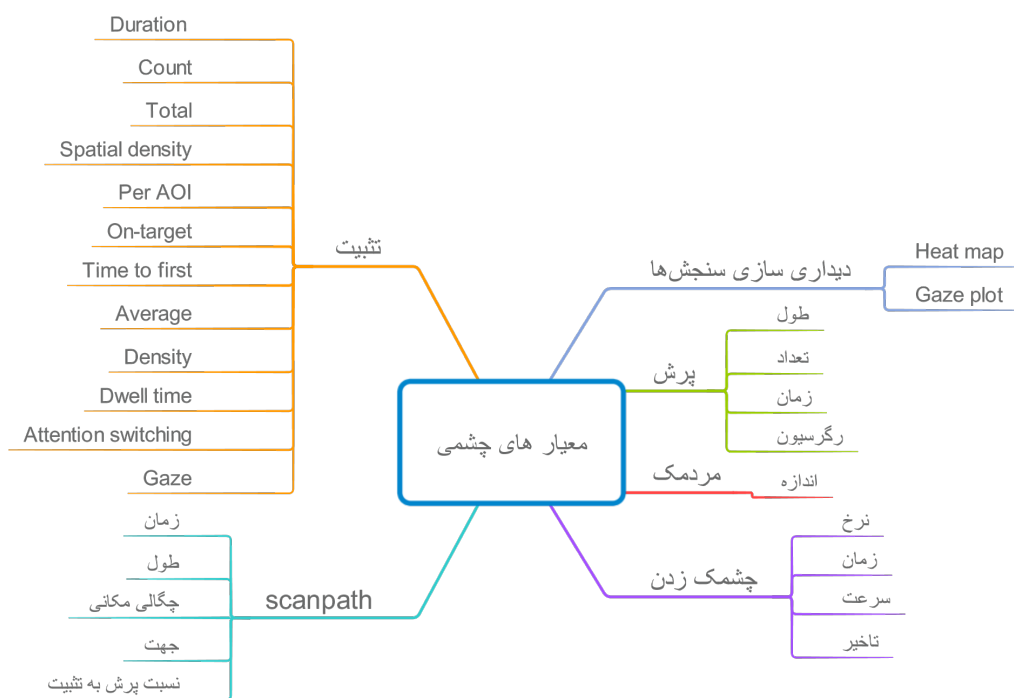
در پایان مشاهده شد معیارهای مختلف چشمی مثل داده‌هایی که از پلک زدن، حرکت‌های چشم و اندازه مردمک بدست می‌آیند تفاوت روشنی در دو فشار ذهنی کم و زیاد با یک آموزش رایانه‌ای نشان می‌دهد. آنها این معیارها را را قدم اولیه‌ای برای اندازه‌گیری فشارذهنی به صورت هم زمان معرفی نمودند.

روتستین و همکاران [۶۶] با بررسی ۱۹ کودک بین ۸ تا ۱۲ ساله با زبان مادری انگلیسی که مشکل‌های خواندن داشتند در آزمایشی همراه والدین‌شان به بیمارستان آمده و به آن‌ها دو دسته متن نمایش داده شد، دسته اول جمله‌هایی که پیام و مفهوم خاصی دنبال می‌کنند و دسته دوم جمله‌هایی بدون مفهوم و معنی. به آنها گفته می‌شد تا جایی که امکان دارد درست و سریع پاسخ دهند. با بررسی قطر مردمک چشم و تثبیت توانستند رابطه‌ای میان بارشناختی و داده‌های چشمی پیدا کنند.

۶ نتیجه گیری

با بررسی ها و مرور پژوهش‌های انجام شده در این مطالعه می‌توان روی آوردن محققان به سمت داده‌های چشمی را به دلایل عنوان شده در زیربخش ۳.۴ را مشاهده نمود. از طرفی دستگاه‌ها و سیستم‌های جدید کامپیوتری که انسان در جنبه‌های مختلف زندگی با آن‌ها در ارتباط است به سمت کم حجم شدن و راحتی کاربر می‌روند و یکی از راه‌های ارتباطی چشم انسان است، که می‌تواند داده‌های بسیار خوبی حتی به صورت هم‌زمان از وضعیت شناختی کاربر بدهد، و این در حالی است که نیازی به دستگاه اضافی و یا مکان خاص نمی‌باشد.

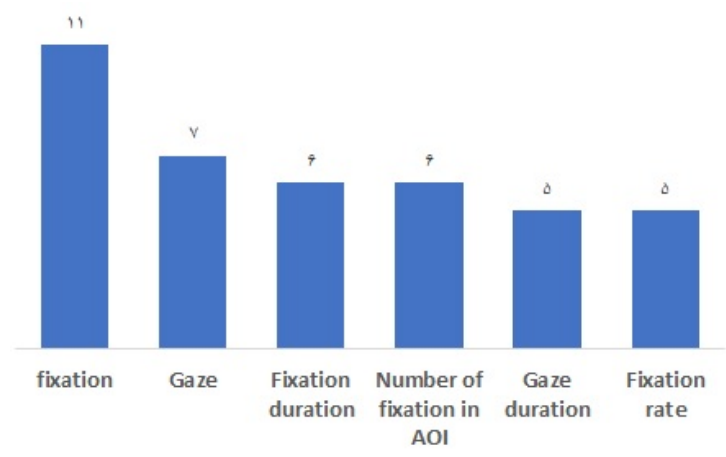
به نظر می‌رسد در صورت انتخاب درست ویژگی‌ها و مشخصه‌های آن و ترکیب وزن‌دار و یا معمولی آن‌ها می‌توان با دقت خوبی حتی به صورت هم‌زمان وضعیت شناختی کاربر را گزارش نمود. در شکل ۲۲ می‌توانید نمودار درختی انواع داده‌های چشمی و مشخصه هر کدام را ببینید که تعدادی از آن‌ها به طور کامل در زیربخش ۵.۴ بررسی شد را ببینید.



شکل ۲۲: نمودار درختی انواع داده‌های چشمی و مشخصه هر کدام

جاکوب و همکاران [۴۸] در پژوهش مروری که انجام دادند میزان استفاده از هریک از

داده‌های چشمی در سنجش بار شناختی را گزارش کردند. در شکل ۲۳ حاصل گزارش آن‌ها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۳: نمودار میزان استفاده از هر یک از داده‌های چشمی

مراجع

- [1] R. Mayer. *Multimedia Learning*. Cambridge University Press, 2009.
- [2] R. E. Mayer, E. Griffith, I. T. Jurkowitz, and D. Rothman, “Increased interestingness of extraneous details in a multimedia science presentation leads to decreased learning.,” *Journal of Experimental Psychology: Applied*, vol.14, no.4, p.329, 2008.
- [3] “How to use mayer’s 12 principles of multimedia learning [examples included],” <https://waterbearlearning.com/mayers-principles-multimedia-learning/>, 2020.
- [4] R. C. Atkinson and R. M. Shiffrin, “Human memory: A proposed system and its control processes,” 1968.
- [5] G. Sperling, “The information available in brief visual presentations.,” *Psychological monographs: General and applied*, vol.74, no.11, p.1, 1960.
- [6] J. Sweller, P. Ayres, and S. Kalyuga, “Measuring cognitive load,” in *Cognitive load theory*, pp.71–85, Springer, 2011.
- [7] J. Sweller, J. J. van Merriënboer, and F. Paas, “Cognitive architecture and instructional design: 20 years later,” *Educational Psychology Review*, pp.1–32, 2019.
- [8] P. Antonenko, F. Paas, R. Grabner, and T. Van Gog, “Using electroencephalography to measure cognitive load,” *Educational Psychology Review*, vol.22, no.4, pp.425–438, 2010.
- [9] A. Korbach, R. Brünken, and B. Park, “Measurement of cognitive load in multimedia learning: a comparison of different objective measures,” *Instructional science*, vol.45, no.4, pp.515–536, 2017.
- [10] R. A. Tarmizi and J. Sweller, “Guidance during mathematical problem solving.,” *Journal of educational psychology*, vol.80, no.4, p.424, 1988.
- [11] P. Chandler and J. Sweller, “Cognitive load theory and the format of instruction,” *Cognition and instruction*, vol.8, no.4, pp.293–332, 1991.
- [12] P. Ayres and J. Sweller, “Locus of difficulty in multistage mathematics problems,” *The American Journal of Psychology*, pp.167–193, 1990.

- [13] P. L. Ayres, "Systematic mathematical errors and cognitive load," *Contemporary Educational Psychology*, vol.26, no.2, pp.227–248, 2001.
- [14] F. G. Paas, "Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach.," *Journal of educational psychology*, vol.84, no.4, p.429, 1992.
- [15] N. Marcus, M. Cooper, and J. Sweller, "Understanding instructions.," *Journal of educational psychology*, vol.88, no.1, p.49, 1996.
- [16] T. Van Gog and F. Paas, "Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research," *Educational Psychologist*, vol.43, no.1, pp.16–26, 2008.
- [17] F. G. Paas, J. J. Van Merriënboer, and J. J. Adam, "Measurement of cognitive load in instructional research," *Perceptual and motor skills*, vol.79, no.1, pp.419–430, 1994.
- [18] S. Kalyuga, P. Chandler, and J. Sweller, "When redundant on-screen text in multimedia technical instruction can interfere with learning," *Human factors*, vol.46, no.3, pp.567–581, 2004.
- [19] F. G. Paas and J. J. Van Merriënboer, "The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures," *Human factors*, vol.35, no.4, pp.737–743, 1993.
- [20] F. Paas, A. Renkl, and J. Sweller, "Cognitive load theory and instructional design: Recent developments," *Educational psychologist*, vol.38, no.1, pp.1–4, 2003.
- [21] B. Hoffman and G. Schraw, "Conceptions of efficiency: Applications in learning and problem solving," *Educational Psychologist*, vol.45, no.1, pp.1–14, 2010.
- [22] J. Sweller, "Cognitive load during problem solving: Effects on learning," *Cognitive science*, vol.12, no.2, pp.257–285, 1988.
- [23] P. Chandler and J. Sweller, "Cognitive load while learning to use a computer program," *Applied cognitive psychology*, vol.10, no.2, pp.151–170, 1996.
- [24] G. S. Halford, M. T. Maybery, and J. D. Bain, "Capacity limitations in children's reasoning: A dual-task approach," *Child Development*, pp.616–627, 1986.

- [25] R. Brünken, J. L. Plass, and D. Leutner, “Assessment of cognitive load in multimedia learning with dual-task methodology: Auditory load and modality effects,” *Instructional Science*, vol.32, no.1-2, pp.115–132, 2004.
- [26] R. Brünken, S. Steinbacher, J. L. Plass, and D. Leutner, “Assessment of cognitive load in multimedia learning using dual-task methodology,” *Experimental psychology*, vol.49, no.2, p.109, 2002.
- [27] P. W. Van Gerven, F. Paas, J. J. Van Merriënboer, and H. G. Schmidt, “Modality and variability as factors in training the elderly,” *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, vol.20, no.3, pp.311–320, 2006.
- [28] S. Chen and J. Epps, “Automatic classification of eye activity for cognitive load measurement with emotion interference,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol.110, no.2, pp.111–124, 2013.
- [29] F. G. Paas and J. J. Van Merriënboer, “Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach,” *Journal of educational psychology*, vol.86, no.1, p.122, 1994.
- [30] D. Kahneman and J. Beatty, “Pupil diameter and load on memory,” *Science*, vol.154, no.3756, pp.1583–1585, 1966.
- [31] P. W. Van Gerven, F. Paas, J. J. Van Merriënboer, and H. G. Schmidt, “Memory load and the cognitive pupillary response in aging,” *Psychophysiology*, vol.41, no.2, pp.167–174, 2004.
- [32] P. D. Antonenko and D. S. Niederhauser, “The influence of leads on cognitive load and learning in a hypertext environment,” *Computers in Human Behavior*, vol.26, no.2, pp.140–150, 2010.
- [33] M. A. Khawaja, F. Chen, and N. Marcus, “Using language complexity to measure cognitive load for adaptive interaction design,” in *Proceedings of the 15th international conference on Intelligent user interfaces*, pp.333–336, 2010.
- [34] P. Ayres, “Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems,” *Learning and instruction*, vol.16, no.5, pp.389–400, 2006.

- [35] K. E. DeLeeuw and R. E. Mayer, “A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load.,” *Journal of educational psychology*, vol.100, no.1, p.223, 2008.
- [36] S. G. Hart and L. E. Staveland, “Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research,” in *Advances in psychology*, vol.52, pp.139–183, Elsevier, 1988.
- [37] S. G. Hart, “Nasa-task load index (nasa-tlx); 20 years later,” in *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, vol.50, pp.904–908, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2006.
- [38] P. Gerjets, K. Scheiter, and R. Catrambone, “Can learning from molar and modular worked examples be enhanced by providing instructional explanations and prompting self-explanations?,” *Learning and Instruction*, vol.16, no.2, pp.104–121, 2006.
- [39] E. Stein, “Air traffic controller workload: An examination of workload probe (dot/faa/ct-tn84/24),” *Atlantic City International Airport, NJ, Federal Aviation Administration Technical Center*, 1985.
- [40] I. Jraidt, A. B. Khedher, M. Chaouachi, and C. Frasson, “Assessing students’ clinical reasoning using gaze and eeg features,” in *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, pp.47–56, Springer, 2019.
- [41] H. Deubel, W. X. Schneider, *et al.*, “Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism,” *Vision research*, vol.36, no.12, pp.1827–1838, 1996.
- [42] Wikipedia contributors, “Eye tracking — Wikipedia, the free encyclopedia,” https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Eye_tracking&oldid=961197831, 2020. [Online; accessed 23-June-2020].
- [43] S. Rafiqi, C. Wangwiwattana, J. Kim, E. Fernandez, S. Nair, and E. C. Larson, “Pupilware: towards pervasive cognitive load measurement using commodity devices,” in *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pp.1–8, 2015.
- [44] J. Zagermann, U. Pfeil, and H. Reiterer, “Measuring cognitive load using eye tracking technology in visual computing,” in *Proceedings of*

the sixth workshop on beyond time and errors on novel evaluation methods for visualization, pp.78–85, 2016.

- [45] D. S. Rudmann, G. W. McConkie, and X. S. Zheng, “Eyetracking in cognitive state detection for hci,” in *Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces*, pp.159–163, 2003.
- [46] S. Chen, J. Epps, N. Ruiz, and F. Chen, “Eye activity as a measure of human mental effort in hci,” in *Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces*, pp.315–318, 2011.
- [47] V. M. G. Barrios, C. Gütl, A. M. Preis, K. Andrews, M. Pivec, F. Mödritscher, and C. Trummer, “Adele: A framework for adaptive e-learning through eye tracking,” *Proceedings of IKNOW*, pp.609–616, 2004.
- [48] J. Hyönä, R. Radach, and H. Deubel. *The Mind’s Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*. 2003.
- [49] M. Porta, S. Ricotti, and C. J. Perez, “Emotional e-learning through eye tracking,” in *Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp.1–6, IEEE, 2012.
- [50] K. Krejtz, A. T. Duchowski, A. Niedzielska, C. Biele, and I. Krejtz, “Eye tracking cognitive load using pupil diameter and microsaccades with fixed gaze,” *PLoS ONE*, vol.13, no.9, pp.1–23, 2018.
- [51] R. P. Vertes, “Hippocampal theta rhythm: A tag for short-term memory,” *Hippocampus*, vol.15, no.7, pp.923–935, 2005.
- [52] S. R. Kheradpisheh, A. Nowzari-Dalini, R. Ebrahimpour, and M. Ganjtabesh, “An evidence-based combining classifier for brain signal analysis,” *PloS one*, vol.9, no.1, p.e84341, 2014.
- [53] A. S. Al-Fahoum and A. A. Al-Fraihat, “Methods of eeg signal features extraction using linear analysis in frequency and time-frequency domains,” *International Scholarly Research Notices*, vol.2014, 2014.
- [54] L. Hu and Z. Zhang. *EEG Signal Processing and Feature Extraction*. Springer, 2019.
- [55] “Signal analysis for a morse decoder,” <http://play.fallows.ca/wp/radio/ham-radio/signal-analysis-morse-decoder/>, 2017.

- [56] C. M. Sundling, N. Sukumar, H. Zhang, M. J. Embrechts, and C. M. Breneman, "Wavelets in chemistry and chemoinformatics," *Reviews in Computational Chemistry*, vol.22, p.295, 2006.
- [57] I. Gerě and N. Jaušvec, "Multimedia: Differences in cognitive processes observed with eeg," *Educational technology research and development*, vol.47, no.3, pp.5–14, 1999.
- [58] A. Yazdani, J.-S. Lee, and T. Ebrahimi, "Implicit emotional tagging of multimedia using eeg signals and brain computer interface," in *Proceedings of the first SIGMM workshop on Social media*, pp.81–88, 2009.
- [59] L. J. Castro-Meneses, J.-L. Kruger, and S. Doherty, "Validating theta power as an objective measure of cognitive load in educational video," *Educational Technology Research and Development*, vol.68, no.1, pp.181–202, 2020.
- [60] A. Dan and M. Reiner, "Eeg-based cognitive load of processing events in 3d virtual worlds is lower than processing events in 2d displays," *International Journal of Psychophysiology*, vol.122, pp.75–84, 2017.
- [61] M. Mazher, A. Abd Aziz, A. S. Malik, and H. U. Amin, "An eeg-based cognitive load assessment in multimedia learning using feature extraction and partial directed coherence," *IEEE Access*, vol.5, pp.14819–14829, 2017.
- [62] D. S. Rudmann, G. W. McConkie, and X. S. Zheng, "Eyetracking in cognitive state detection for HCI," *ICMI'03: Fifth International Conference on Multimodal Interfaces*, pp.159–163, 2003.
- [63] V. M. García-Barrios, C. Gütl, A. M. Preis, K. Andrews, M. Pivec, F. Mödritscher, and C. Trummer, "AdELE: A Framework for Adaptive E-Learning through Eye Tracking," *International Conference on Knowledge Management (I-Know)*, pp.609–616, 2004.
- [64] C. S. Ikehara and M. E. Crosby, "Assessing cognitive load with physiological sensors," *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, vol.00, no.C, p.295, 2005.
- [65] S. Chen, J. Epps, N. Ruiz, and F. Chen, "Eye activity as a measure of human mental effort in HCI," *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, pp.315–318, 2011.

- [66] A. Ozeri-Rotstain, I. Shachaf, R. Farah, and T. Horowitz-Kraus, “Relationship between eye-movement patterns, cognitive load, and reading ability in children with reading difficulties,” *Journal of psycholinguistic research*, 2020.