

ارزیابی خستگی ذهنی با استفاده از ثبت سیگنال‌های مغزی: الکتروانسفالوگرافی

بهزاد فولادی دهقی^{۱،۲}، عباس محمدی^{۱،۳}، لیلا نعمت پور^{۴*}

۱. مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست‌محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
۴. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>زمینه و هدف: خستگی ذهنی وضعیتی است که با فعالیت طولانی مدت شناختی ایجاد می‌شود. خستگی ذهنی به فعالیت بیش از حد مغزی منجر می‌شود که در آن سلول‌های مغزی خسته و مانع بهره‌وری فرد و عملکرد کلی شناختی می‌شود. هدف از این پژوهش ارزیابی خستگی ذهنی دانشجویان با استفاده از شاخص‌های مغزی است.</p> <p>روش کار: این پژوهش توصیفی - تجربی است که روی ۲۰ تا از دانشجویان دانشکده بهداشت با میانگین (انحراف معیار) سنی ۲۴/۴۰ (۳/۷۳) سال در سال ۱۳۹۷ در دانشگاه علوم پزشکی اهواز انجام شده است. برای بررسی عملکرد شرکت‌کنندگان از آنها خواسته شد متنی با غلط‌های املایی را بررسی و آن غلط‌ها را تصحیح کنند. این فعالیت در ۵ مرحله ۱۵ دقیقه‌ای انجام شد. در همه مراحل الکتروانسفالوگرام (EEG) آنها ثبت و در هر مرحله مقیاس آنالوگ بصری توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد. از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.</p> <p>یافته‌ها: فعالیت امواج آلفا، بتا و تتا در ۱۵ دقیقه اول به ترتیب، 0.19 ± 0.36 و 0.70 ± 0.33 و 0.89 ± 0.30 بود. کاهش در فعالیت امواج مغز افزایش میزان خستگی ذهنی آنها را نشان می‌دهد. همچنین افراد با مقیاس آنالوگ بصری بیان داشته‌اند که دچار خستگی ذهنی شده‌اند. مطابق با نتایج ارتباط معنی‌داری بین EEG و مقیاس آنالوگ بصری دانشجویان دیده نشد.</p> <p>نتیجه‌گیری: امواج آلفا، بتا و تتا می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی خستگی ذهنی باشند. همچنین خستگی ذهنی می‌تواند عاملی باشد که بر دقت و عملکرد افراد تأثیر بگذارد؛ به گونه‌ای که به کاهش توجه و بازدهی آنها منجر شود.</p> <p>واژه‌های کلیدی: الکتروانسفالوگرافی، مقیاس آنالوگ بصری، خستگی ذهنی، دقت و عملکرد</p>	<p>تاریخ وصول: ۱۳۹۸/۰۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۹ انتشار آنلاین: ۱۳۹۸/۰۴/۰۹</p> <p>نویسنده مسئول: لیلا نعمت پور کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران</p> <p>پست الکترونیک: Lnematpour94@gmail.com</p>

کار، افزایش در میزان و شدت اشتباهات است [۳]. افراد خسته از لحاظ ذهنی اغلب به‌سختی قادر به حفظ توجه و تمرکز بوده و به‌راحتی پریشان و حواس‌پرت می‌شوند که این امر اثرات خستگی ذهنی را بر میزان توجه نشان می‌دهد [۴]. هنگامی که فرد خسته می‌شود مشکلاتش در حفظ توجه و تمرکز بر کار افزایش می‌یابد. در فرایند خستگی ذهنی شخص در حال گذر از حالت هوشیاری به خستگی است [۵]. خستگی می‌تواند بر دستگاه قلب و عروق تأثیر بگذارد و بیماری‌های روانی، کندی ذهن، بی‌خوابی، ضعف، کاهش حافظه، افزایش ناخوشی، بی‌تعدالی و حتی درد ماهیچه‌ای را به وجود آورد [۱]. خستگی یکی از مهم‌ترین مسائل در محیط‌های کاری است که در اشکال مختلف بروز می‌کند. به همین علت نمی‌توان آن را با یک آزمون یا تغییر عملکرد

مقدمه

خستگی فرایندی تجمعی و تدریجی است. با این تصور که با بی‌میلی برای هرگونه تلاش، کاهش کارایی، هوشیاری و درنهایت اختلال در عملکرد ذهنی همراه است که می‌تواند به صورت خستگی جسمی یا خستگی ذهنی باشد [۱]. از عوامل ایجادکننده خستگی می‌توان به ساعات کاری طولانی، گرما یا سرمای بیش از اندازه، کمبود یا فزونی روشنایی، خواب کم و نامنظم، اختلالات فیزیولوژیک و نورولوژیک، فعالیت یکنواخت، مشکلات اجتماعی و خانوادگی و نوبت شب اشاره کرد [۲]. هنگامی که افراد برای زمان طولانی در حال انجام وظیفه هستند به استفاده از عملکردهای شناختی نیاز دارند؛ بنابراین اغلب خستگی ذهنی را تجربه خواهند کرد که انعکاس آن عملکرد روبه‌افول، کاهش انگیزه برای ادامه

هدف این پژوهش ارزیابی خستگی ذهنی و تأثیر آن بر دقت و عملکرد افراد هنگام فعالیت ذهنی به منظور مرتبطسازی معیارهای ذهنی و عینی برای اندازه‌گیری خستگی ذهنی در مراحل اولیه خود با استفاده از EEG و مقیاس آنالوگ بصری است.

مواد و روش‌ها

شرکت‌کنندگان

در این پژوهش توصیفی - تجربی ۲۰ دانشجو (۱۰ مرد و ۱۰ زن) با محدوده سنی ۱۸ تا ۳۰ سال با میانگین (انحراف معیار) ۲۴/۴۰ (۳/۷۳) مشارکت کردند. طبق فرمولی که در ادامه آمده حجم نمونه ۱۸ نفر تعیین شد. در مجموع ۲۰ نفر داوطلبانه در پژوهش مشارکت کردند.

$$N=Z^2_{1-\alpha/2} * \delta^2/d^2$$

این پژوهش رأس ساعت ۸:۳۰ صبح به مدت ۷۵ دقیقه در یک محیط آزمایشگاهی کنترل شده از نظر دما و صدا انجام شد. قبل از انجام آزمون، از پرسشنامه ارزیابی شیوه زندگی که در زمینه موارد منع پزشکی (بیماری شدید، مصرف دارو، سوءمصرف مواد مخدر و مشکلات روانی و انجام ندادن فعالیت سنگین) است به عنوان معیار ورود به پژوهش استفاده شد. افرادی که با این ابزار قابل قبول تشخیص داده نمی‌شدند، از مطالعه کنار گذاشته شدند. از شرکت‌کنندگان خواسته شد که از مصرف کافئین یا چای، تقریباً ۴ ساعت قبل از پژوهش، و مصرف سیگار، تا ۲۴ ساعت قبل از آن، اجتناب کنند [۱۶]. الزامات اخلاقی در این پژوهش رعایت شده است؛ به نحوی که مشارکت‌کنندگان ابتدا از محتوای آزمون مطلع شدند، سپس داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند.

دستورالعمل و روش جمع‌آوری داده‌ها

قبل از شروع آزمون از شرکت‌کنندگان خواسته شد روی صندلی تهیه شده برای انجام آزمون در پنج مرحله ۱۵ دقیقه‌ای بنشینند تا کلاه براساس سایز سر شرکت‌کننده و مطابق دستورالعمل سازنده تنظیم شود. برای ایجاد خستگی ذهنی از افراد خواسته شد تا وظایف فکری به نسبت طولانی را انجام دهند. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تمرکز طولانی مدت به بروز خستگی منجر می‌شود [۱۷، ۲]. شرکت‌کنندگان در مرحله اول بدون هیچ‌گونه فعالیتی می‌نشینند و فعالیت امواج مغزی آن‌ها توسط EEG ثبت می‌شود. در مرحله دوم تا پنجم، برای بررسی دقت و عملکرد، یک متن ادبی یکسان با تعداد غلط‌های املائی مشخص شده در هر مرحله را مطالعه و تعداد غلط‌های املائی موجود در متن را مشخص می‌کنند. در ابتدای مطالعه و پس از هر ۱۵ دقیقه مقیاس آنالوگ بصری توسط افراد تکمیل می‌شود تا خستگی ذهنی و شدت آن طی آزمایش به دست آید. برای این مقیاس شرکت‌کنندگان مجاز به نشان دادن یک مقیاس ۱۰ امتیازی هستند که به ترتیب

عدد ۱۰ پایین‌ترین و عدد صفر بالاترین مقدار شدت خستگی را نشان می‌دهد [۱۸].

ارزیابی کرد [۱۶]. برای اندازه‌گیری خستگی در محیط کاری باید در ابتدای امر مشخصه‌های فیزیولوژیک مرتبط با خستگی را شناخت و بعد آن را اندازه‌گیری و ارزیابی کرد [۱۷]. نمی‌توان خستگی را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد، اما می‌توان برخی از علائم مرتبط با خستگی را شناسایی و نشانه‌های فیزیولوژیک و روانی مرتبط با این علامت‌ها را اندازه‌گیری کرد.

برخی از پژوهشگران برای سنجش تغییرات فیزیولوژیکی افراد از فعالیت‌های مغزی مانند الکتروانسفالوگرافی (EEG) به عنوان وسیله‌ای برای ردیابی خستگی و سطح هوشیاری استفاده کرده‌اند [۸، ۹]. الکتروانسفالوگرافی روشی است که با بهره‌گیری از آن می‌توان پتانسیل‌های الکتریکی حاصل از فعالیت عصبی سلول‌های مغزی به نام الکتروانسفالوگرام را ثبت و مشاهده کرد. سیگنال‌های EEG همه فعالیت‌های فیزیکی و ذهنی در مغز را منعکس می‌کند. با این روش الگوهای الکتریکی مختلفی را در مغز انسان می‌توان ثبت کرد. این الگوهای ثبت فعالیت مغزی امواج بتا (۱۲ تا ۳۰ هرتز: سطح هوشیاری بالا)، آلفا (۸ تا ۱۲ هرتز: آرامش)، تتا (۴ تا ۸ هرتز: خستگی) و دلتا (۰/۵ تا ۴ هرتز: سطح هوشیاری پایین) هستند [۱۰].

خودگزارش‌دهی روش دیگری است که فرد میزان خستگی خود را گزارش می‌دهد. برای اجرای این روش از مقیاس آنالوگ بصری استفاده می‌شود [۱۱]. Arghami و همکاران در پژوهشی میزان همخوانی نتایج اندازه‌گیری خستگی ذهنی را با مقیاس آنالوگ بصری و دستگاه فلیکرفیوژن بررسی کرده‌اند. در این پژوهش دانشجویان به انجام وظایف فکری پرداختند و خستگی ذهنی خود را توسط مقیاس آنالوگ بصری اظهار داشتند. همچنین خستگی ذهنی آنها با دستگاه فلیکرفیوژن هم‌زمان اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو روش خستگی ذهنی پس از انجام وظایف فکری افزایش معنی‌داری دارد، اما نتایج دو روش با یکدیگر همخوانی ندارد [۱۲]. در پژوهش دیگری Xu و همکاران تأثیر فعالیت‌های فیزیکی - ذهنی را بر خستگی ذهنی توسط EEG بررسی کرده‌اند. آنها در پژوهش خود از فعالیت فیزیکی دوچرخه‌سواری در کنار فعالیت ذهنی استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که خستگی ذهنی در طول کار فیزیکی - ذهنی سریع‌تر افزایش می‌یابد [۱۳]. Rajavenkatanarayanan و همکاران در پژوهش خود تأثیر خستگی ذهنی را بر رفتار و عملکرد خلبانان توسط EEG و مقیاس خودگزارش‌دهی ارزیابی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با انجام فعالیت فیزیکی و ذهنی افراد دچار خستگی ذهنی می‌شوند. این در حالی است که عملکرد آنها افزایش می‌یابد [۱۴]. Nematpour و همکاران خستگی ذهنی را بر عملکرد کارکنان توسط EEG و مقیاس خودگزارش‌دهی بررسی کرده‌اند. شرکت‌کنندگان هنگام فعالیت ذهنی خستگی ذهنی خود را اعلام کردند. همچنین عملکرد آنها طی آزمایش کاهش می‌یابد [۱۵].

را پردازش می‌کند. برای قراردادن الکترودها از استاندارد بین‌المللی ۱۰/۲۰ استفاده شد. از ورودی A دستگاه نکسوس برای اندازه‌گیری الکتروانسفالوگرافی استفاده و مطابق دستورالعمل دستگاه گوش چپ برای الکتروود مرجع استفاده شد. الکتروود قرمز روی نقطه Cz سر (واقع در ناحیه اکسیپیتال) و الکتروود زمینه (سفید) روی گوش راست قرار داده شد [۲۰].

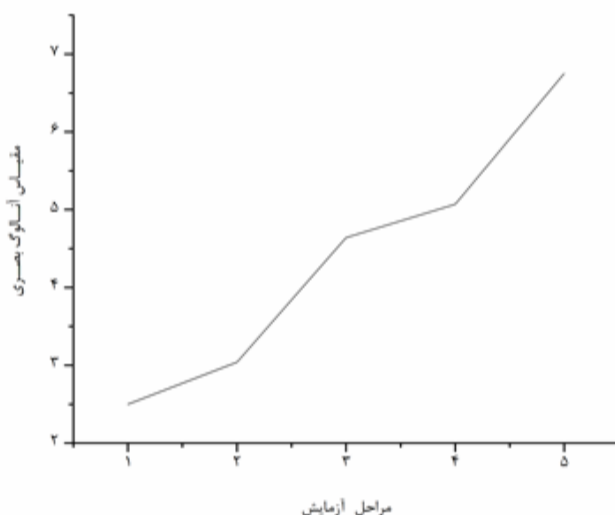
تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای نرمال‌بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (K-S) استفاده شد. برای بررسی اثرات زمان بر متغیرهای مختلف از ضرایب همبستگی پیرسون و برای مقایسه ابزار متغیر وابسته از آزمون t زوجی استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS-۲۴ (SPSS Inc, USA, ۹,۶,۰,۰) تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها

مقیاس خودگزارش‌دهی

سطح خستگی ذهنی گزارش‌شده با استفاده از مقیاس آنالوگ بصری در شکل ۱ نشان داده شده است. روند صعودی نمودار نشان‌دهنده افزایش میزان خستگی ذهنی در طول مراحل آزمایش است. میانگین و انحراف معیار مقیاس آنالوگ بصری در ۱۵ دقیقه ابتدایی و انتهای پژوهش به ترتیب $2/50 \pm 0/95$ و $6/75 \pm 1/11$ بود. همچنین آزمون t زوجی نشان می‌دهد که بین میزان خودارزیابی در ۱۵ دقیقه ابتدایی و انتهای پژوهش اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P \leq 0/05$).



شکل ۱. سطح خستگی ذهنی گزارش‌شده (مقیاس آنالوگ بصری) در ۵ مرحله: ۱. دقیقه ۱۵؛ ۲. دقیقه ۳۰؛ ۳. دقیقه ۴۵؛ ۴. دقیقه ۶۰؛ ۵. دقیقه ۷۵.

بعدی میزان فعالیت مطالعه‌ای آنها نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عملکرد و دقت شرکت‌کنندگان به مرور زمان در هر مرحله کاهش داشته است. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد کارکنان در ۱۵ دقیقه اول و آخر اختلاف معنی‌داری دارد ($P \leq 0/05$).

سیگنال EEG ثبت‌شده آغشته به نویز و مصنوعاتی است که منشائی غیر از مغز دارد. منبع نویز و مصنوعات موجود در سیگنال شامل حرکت ماهیچه‌های بدن، حرکت چشم و پلک زدن، ضربان قلب و تجهیزات الکتریکی است. روش‌های متعددی برای حذف نویز و مصنوعات وجود دارد. از جمله پالایه میان‌گذر برای حذف مصنوعات فیزیولوژیک و تحلیل مؤلفه‌های مستقل (Independent Component Analysis: ICA) برای حذف مصنوعات غیرفیزیولوژیک [۱۹]. برای تحلیل کمی نتایج و پردازش سیگنال‌ها از یک فرایند ریاضی پیچیده به نام الگوریتم تبدیل فوریه سریع (Fast Fourier Transform: FFT) استفاده می‌شود. توسط نرم‌افزار Bio Trace سازگار با خود دستگاه مصنوعات و حرکات چشم پالایه شده و همه داده‌ها را مستقیماً تبدیل می‌کند. با استفاده از FFT امواج ثبت‌شده به عدد و اعداد نیز به‌نوبه خود به تصاویر و نمودارها تبدیل می‌شود [۲۰].

ثبت داده‌های الکتروانسفالوگرافی

از دستگاه پرتابل ۴-NeXus ساخت شرکت ماینند مدیای هلند (Mind Media B.V. Company, Netherlands) با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۲۴ هرتز و به صورت ۲۴ بیتی با استفاده از الکترودهای فعال سیگنال‌های EEG استفاده شد. سپس اطلاعات ثبت‌شده به کامپیوتر انتقال داده و با نرم‌افزار BioTrace ساخت شرکت ماینند مدیای هلند (Mind Media B.V. Company, Netherlands) پردازش شد. این نرم‌افزار برای پردازش سیگنال EEG یا دیگر داده‌های الکتروفیزیولوژیکی، حذف مصنوعات و اغتشاش سیگنال‌ها

دقت و عملکرد

میزان دقت و عملکرد دانشجویان در مراحل مختلف آزمایش به صورت میانگین و انحراف معیار در جدول ۱ آمده است. در مرحله اول افراد بدون مطالعه بوده‌اند و در مراحل

جدول ۱. دقت و عملکرد دانشجویان در ۵ مرحله: ۱. صفر تا ۱۵ دقیقه؛ ۲. ۱۵ تا ۳۰ دقیقه؛ ۳. ۳۰ تا ۴۵ دقیقه؛ ۴. ۴۵ تا ۶۰ دقیقه؛ ۵. ۶۰ تا ۷۵ دقیقه.

مرحله	۱	۲	۳	۴	۵
زمان	۰-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	۶۰-۷۵
گزارش خطا	-	۲۹/۱۲±۲/۸۵	۲۵/۰۰±۳/۲۰	۱۹/۵۰±۲/۹۲	۱۷/۳۷±۲/۳۲

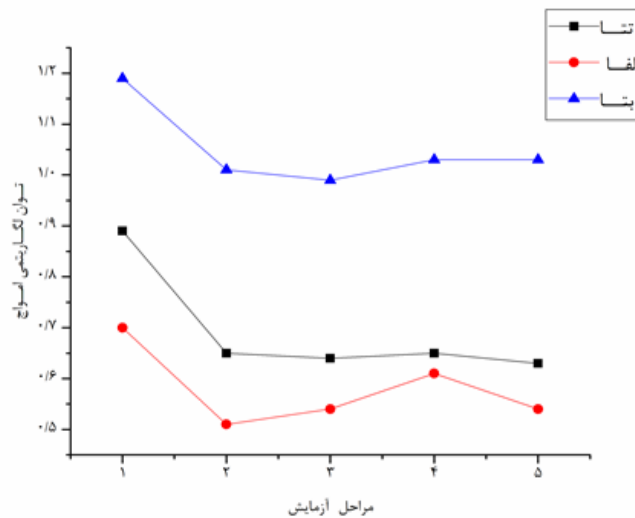
اختلاف معنی‌داری در میانگین توان امواج تتا مشاهده نشد.

مقایسه خستگی ذهنی و عینی دانشجویان توسط EEG و مقیاس آنالوگ بصری با استفاده از آزمون پیرسون در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در مرحله ابتدایی پژوهش که دانشجویان بدون فعالیت ذهنی بودند بین خستگی عینی ثبت‌شده و خستگی ذهنی گزارش‌شده ارتباطی وجود ندارد. در ادامه و با شروع فعالیت ذهنی افراد باز هم تا آخرین مرحله از آزمایش هیچ‌گونه ارتباطی بین EEG و مقیاس آنالوگ بصری دیده نشد ($P \geq 0/056$). ضریب همبستگی به‌دست‌آمده در همه مراحل منفی شد که تأثیر معکوس این دو متغیر را بر یکدیگر نشان می‌دهد.

الکتروانسفالوگرافی (EEG)

یافته‌های حاصل از امواج ثبت‌شده آلفا، بتا و تتا نشان می‌دهد که در ۱۵ دقیقه اول (استراحت) تا دقیقه ۳۰ سیر نزولی داشته‌اند. همچنین حین آزمون از دقیقه ۱۵ تا ۶۰ تقریباً ثابت بوده‌اند. درحالی‌که موج آلفا در دقیقه ۶۰ تا ۷۵ نزولی بود. به‌طورکلی روند نمودارها سیر نزولی داشته است (شکل ۲).

یافته‌های حاصل از توان امواج آلفا، بتا و تتا در ۱۵ دقیقه ابتدایی و انتهایی مطالعه در جدول ۲ آمده است. میانگین توان موج آلفا و بتا در ۱۵ دقیقه ابتدایی و انتهایی تفاوت معنی‌داری با هم دارد ($P \leq 0/050$). این در حالی است که



شکل ۲. تغییرات توان امواج مغزی

جدول ۲. توان امواج مختلف در ۱۵ دقیقه ابتدایی و انتهایی

پارامتر	۱۵ دقیقه ابتدایی (Mean±S.D.)	۱۵ دقیقه انتهایی (Mean±S.D.)	t	P
آلفا	۰/۸۹±۰/۳۰	۰/۶۳±۰/۳۰	۴/۲۰	۰/۰۰
بتا	۰/۷۰±۰/۳۳	۰/۵۵±۰/۲۶	۲/۲۷	۰/۰۵
تتا	۱/۱۹±۰/۲۶	۱/۰۳±۰/۲۴	۲/۲۴	۰/۰۶

جدول ۳. مقایسه خستگی ذهنی و عینی در دانشجویان

مراحل	EEG	مقیاس آنالوگ بصری	R	P
۱	۲/۲۲±۰/۲۷	۲/۳۰±۰/۸۲	-۰/۰۲	۰/۹۵
۲	۱/۸۹±۰/۲۹	۳/۴۰±۰/۹۶	-۰/۱۰	۰/۷۶
۳	۱/۸۰±۰/۴۵	۴/۲۰±۱/۳۱	-۰/۲۰	۰/۵۶
۴	۱/۷۷±۰/۵۰	۵/۲۰±۱/۳۱	-۰/۹۸	۰/۷۹
۵	۱/۹۶±۰/۲۴	۶/۱۰±۱/۶۶	-۰/۰۶	۰/۸۵

بحث

با افزایش خستگی ذهنی عملکرد شرکت‌کنندگان به مرور زمان کاهش داشته که این روند به صورت خودگزارش‌دهی توسط شرکت‌کنندگان و بررسی امواج ثبت‌شده توسط EEG نیز تأیید شده است. کاهش در میزان امواج آلفا، بتا و تتا در طول آزمون نشان‌دهنده افزایش خستگی ذهنی افراد است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که افزایش معنی‌داری در سطح خستگی در ۱۵ دقیقه ابتدایی و انتهای مطالعه وجود دارد. پژوهش Zhang و Zheng که سطح خستگی افزایش معنی‌داری را در ابتدا و انتهای وظیفه آزمایش‌شده نشان می‌دهد با نتایج این پژوهش همخوان است [۲۱]. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که با افزایش سطح خستگی ذهنی، توان نسبی ریتم‌های تتا، آلفا و بتا کاهش می‌یابد [۲۲، ۲۳]. Pires و همکاران در پژوهشی خستگی ذهنی و تأثیر آن را بر عملکرد دوچرخه‌سواران توسط EEG بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مدت‌زمان فعالیت خستگی ذهنی افراد افزایش — که توسط افزایش موج تتا نشان داده شده است — و عملکرد آنها کاهش می‌یابد [۲۴]. Trejo و همکاران در پژوهش خود خستگی ذهنی مبتنی بر EEG و مقیاس بصری آنالوگ را برآورد و طبقه‌بندی کرده‌اند. این پژوهش نشان می‌دهد که خستگی ذهنی در مقیاس بصری افزایش و عملکرد افراد به مرور زمان کاهش یافته است. همچنین مقدار توان موج آلفا و تتا کاهش داشته است [۲۵]. Charbonnier و همکاران خستگی ذهنی را در اپراتورهای کنترل با استفاده از EEG و مقیاس KSS بررسی کرده‌اند. اپراتورها حین فعالیت خستگی ذهنی را گزارش کرده‌اند. همچنین عملکرد آنها و مقدار توان موج آلفا در طول آزمایش کاهش داشته است [۲۶]. Smith و همکاران در پژوهشی اثرات وظیفه‌شناسی را بر شاخص‌های خستگی ذهنی توسط EEG و مقیاس آنالوگ بصری مقایسه کرده‌اند. شرکت‌کنندگان خستگی ذهنی خود را توسط مقیاس آنالوگ بصری اذعان داشته‌اند. همچنین متغیرهای امواج آلفا، بتا، دلتا و تتا در روند آزمایش افزایش داشته که خستگی ذهنی را در افراد نشان می‌دهد [۲۷]. در پژوهش دیگری Talukdar

و همکاران خستگی ذهنی حاصل از تصاویر متحرک را توسط EEG و مقیاس آنالوگ بصری بررسی کرده‌اند. نتایج این پژوهش افزایش خستگی ذهنی توسط مقیاس آنالوگ بصری در شرکت‌کنندگان را نشان می‌دهد. همچنین توان امواج آلفا، دلتا و تتا در طول آزمایش افزایش داشته که نشان‌دهنده افزایش خستگی ذهنی در شرکت‌کنندگان است [۲۸].

در این پژوهش نوساناتی در فعالیت آلفا مشاهده شد. اگرچه در کل فعالیت آلفا سیر نزولی داشته، در فاصله زمانی ۳۰ تا ۶۰ دقیقه ثابت و ۶۰ تا ۷۵ دقیقه افزایش داشته است. پژوهش Charbonnier و همکاران کاهش فعالیت آلفا را در طول خستگی نشان می‌دهد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد [۲۶]. همچنین Eoh و همکاران در پژوهش خود افزایش جزئی را در فعالیت آلفا هنگام شروع و شکل‌گیری خستگی نشان داده‌اند [۲۹]. Jap و همکاران در پژوهش خود نشان داده‌اند هنگامی که فرد در وضعیت بیدار و با چشم بسته است فعالیت آلفا بیشتر ظاهر می‌شود و طی آن تمرکز کاهش می‌یابد [۳۰]. در این پژوهش در دقیقه ۱۵ تا ۳۰ سیر نزولی در فعالیت بتا و تتا با افزایش خستگی مشاهده شد، اما در دقیقه ۳۰ تا ۷۵ این روند ثابت باقی‌ماند. برخی پژوهش‌ها کاهش معنی‌داری را در فعالیت بتا در طول پیشروی خستگی نشان می‌دهند و این نکته را ذکر می‌کنند که فعالیت بتا در طول هوشیاری و تمرکز افزایش می‌یابد که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند [۳۰]. در پژوهشی که Zhao و همکاران برای خستگی ذهنی در رانندگان انجام داده‌اند افزایش موج تتا مشاهده شد، اما موج بتا کاهش داشت [۱۶]. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که برخی از کانال‌ها با افزایش خستگی ذهنی رابطه مستقیم و بعضی دیگر رابطه عکس دارد؛ بدین معنی که فعالیت مغزی در بعضی از نواحی سر با افزایش خستگی ذهنی زیاد شده و در بعضی نواحی کمتر می‌شود، البته با توجه به نقش اکثر کانال‌های ثبت EEG می‌توان گفت که همه نواحی سر در بروز خستگی ذهنی مؤثر هستند [۳۱، ۳۲].

مقایسه بین امواج آلفا، بتا و تتا در این پژوهش نشان می‌دهد که موج آلفا در سطح پایین‌تر و موج تتا در موقعیت بالاتری از نمودار قرار دارد. در حالت نرمال بیداری با چشم

با توجه به نتایج اندازه‌گیری خستگی ذهنی با استفاده از مقیاس آنالوگ بصری و مقایسه آن با خستگی عینی می‌توان گفت که این مقیاس ابزار مناسبی برای ارزیابی حالت خستگی ذهنی افراد نیست.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مفهوم خستگی ذهنی چندعاملی است، امکان بررسی همه عوامل مؤثر بر آن در این پژوهش وجود نداشت که از محدودیت‌های این پژوهش است و پژوهش‌های بیشتری برای بررسی این عوامل نیاز است. از دیگر محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به بررسی تعداد کم کانال‌ها در نواحی قشر مغز اشاره کرد که می‌توان در پژوهش‌های آتی به بررسی بیشتر نواحی مختلف مغز و همچنین مقایسه بین امواج در هر قشر مغز پرداخت تا بتوان به آگاهی بیشتری از موقعیت امواج و بررسی دقیق‌تر خستگی ذهنی پرداخت. علاوه بر این مقیاس آنالوگ بصری استفاده شده برای ارزیابی خستگی ذهنی احتمالاً نامناسب بوده است. با استفاده از یک ابزار حساس‌تر ممکن است بتوان تمایز بیشتری قائل شد. در این پژوهش خستگی ذهنی افراد در فعالیت‌های طولانی‌مدت شناختی ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که سطح خستگی ذهنی در دانشجویان تغییراتی داشته است؛ به‌گونه‌ای که در مراحل انجام آزمایش کاهش در امواج مغزی دیده شد که خستگی ذهنی را نشان می‌داد، اما این کاهش خستگی ذهنی به‌اندازه‌ای که آنها توسط مقیاس خود گزارش‌دهی اعلام کرده‌اند، نبود و چندان ارتباط معنی‌داری بین خستگی عینی و ذهنی در دو گروه دیده نشد. از سوی دیگر مشاهده شد بین خستگی ذهنی و کاهش دقت، تمرکز و هوشیاری افراد ارتباط مثبتی وجود دارد که می‌تواند عملکرد آنها را کاهش دهد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که امواج مغزی می‌تواند شاخص‌های خوبی برای پیش‌بینی زود هنگام خستگی ذهنی باشد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه لیلیان نعمت‌پور، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه جندی‌شاپور اهواز به شماره ۹۷۱۰۴-U انجام شده است.

تعارض در منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

باز امواج بتا غالب است و در حالت استراحت یا خواب آلودگی امواج آلفا افزایش می‌یابد و اگر خواب ظاهر شود باندهای با فرکانس کم افزایش می‌یابد. آلفا هنگام بستن چشم‌ها و حالت استراحت تحریک می‌شود و با بازکردن چشم‌ها یا تحریکات ناشی از فکرکردن و محاسبات ذهنی کاهش می‌یابد. هنگامی که افراد چشم‌هایشان را می‌بندند تغییرات فراوانی در الگوهای امواج مغزی رخ می‌دهد و امواج از بتا به آلفا تغییر می‌کند. ناحیه اصلی تولید آلفا هنوز مشخص نیست [۲۳].

نتایجی که از مقایسه EEG و مقیاس آنالوگ بصری بین دانشجویان در مراحل مختلف آزمایش مشاهده شد، نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌داری در این گروه در همه مراحل پژوهش وجود ندارد. در روند مراحل آزمایش دانشجویان خستگی ذهنی خود را به‌صورت مقیاس آنالوگ بصری بیان کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که باگذشت زمان خستگی ذهنی را تجربه کرده‌اند، اما خستگی عینی ثبت‌شده توسط EEG تغییرات نسبتاً زیادی را در مراحل مختلف آزمون نشان نمی‌دهد. همان‌گونه که بیان شد در مقایسه نتایج آماری ارتباطی بین آن‌ها دیده نشد. برخی از پژوهش‌ها نیز این مطلب را تأیید می‌کند. پژوهش Gergelyfi و همکاران خستگی ذهنی را در فعالیت‌های شناختی طولانی‌مدت توسط EEG و پرسشنامه MFI^۱ به همراه رفتارهای مالی و انگیزشی بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بین EEG ثبت‌شده و MFI گزارش‌شده توسط شرکت‌کنندگان ارتباطی وجود ندارد؛ به‌گونه‌ای که در EEG ثبت‌شده خستگی ذهنی در افراد دیده نشد، اما در MFI این خستگی گزارش شد. علت آن را تأثیر عامل انگیزشی بر خستگی عینی اندازه‌گیری شده اعلام کرده‌اند [۲۴]. در پژوهش Charbonnier و همکاران خستگی ذهنی در اپراتورهای کنترل به دو گروه تقسیم شد. گروهی که خستگی ذهنی را با شاخص بیش از ۰/۴ داشتند و گروهی که کمتر از ۰/۴ بودند. درنهایت مشاهده شد که ارتباط بین KSS و افراد با شاخص EEG بالای ۰/۴ بیشتر بود، اما در افراد کمتر از ۰/۴ این ارتباط دیده نشد [۲۶].

وظیفه‌شناسی طولانی‌مدت به افزایش خستگی ذهنی و کاهش عملکرد در افراد منجر می‌شود. به‌طور کلی این یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش بار فکری و کاهش عملکرد به‌ترتیب نشان‌دهنده روانی و رفتاری خستگی ذهنی هستند. همچنین مشاهده شد که EEG به‌عنوان یک ابزار اندازه‌گیری خستگی ذهنی به صورت عینی می‌تواند مؤثر باشد. الکتروانسفالوگرافی از ابزارهایی است که برای تصویربرداری از امواج بیولوژیک (حیاتی) به طور وسیعی در حوزه بالینی و پژوهش‌های کاربردی استفاده می‌شود. سیگنال‌های EEG شامل امواج مغزی متفاوتی است که فعالیت الکتریکی مغز را بر طبق جانمایی الکترودها و نواحی مختلف مغز بازتاب می‌دهد. EEG به‌عنوان یک ابزار بررسی عینی خستگی ذهنی را نشان می‌دهد. برخی پژوهشگران این نتیجه را با استفاده از روش‌های fMRI^۲ و MEG^۳ تأیید کرده‌اند [۲۵، ۲۶].

1. The Multidimensional Fatigue Inventory
2. Functional Magnetic Resonance Imaging
3. Magnetoencephalography

References

1. Wright RA, Stewart CC, Barnett BR. Mental fatigue influence on effort-related cardiovascular response: Extension across the regulatory (inhibitory)/non-regulatory performance dimension. *International Journal of Psychophysiology*. 2008 Aug 1;69(2):127-33.
2. Halvani GH, Baghianimoghadam MH, Rezaei MH. Fatigue situation in tile industries workers. *Iran Occupational Health*. 2007 Sep 15;4(3):57-63.
3. van der Linden D. The urge to stop: The cognitive and biological nature of acute mental fatigue. *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications*. 2011:149-64.
4. Faber LG, Maurits NM, Lorist MM. Mental fatigue affects visual selective attention. *PloS one*. 2012 Oct 31;7(10):e48073.
5. Van der Linden D, Eling P. Mental fatigue disturbs local processing more than global processing. *Psychological research*. 2006 Sep 1;70(5):395-402.
6. Firoozeh M, Kavousi A, Hasanzadeh S. Evaluation of Relationship between Occupational Exposure to Organic Solvent and Fatigue Workers at a Paint Factory in Saveh city. *Iran Occupational Health*. 2017 Jun 15;14(2):82-92.
7. Ghasemkhani M, Abbasinia M, Mahmoodkhani S, Aghae H, Asghari M. Assessment of fatigue and its relationship with Insomnia Severity Index in shift workers, fixed and rotating, Tehran rolling mills and steel production company. *Iran Occupational Health*. 2013 Jul 15;10(2):79-86.
8. Vecchiato G, Astolfi L, Fallani FD, Cincotti F, Mattia D, Salinari S, Soranzo R, Babiloni F. Changes in brain activity during the observation of TV commercials by using EEG, GSR and HR measurements. *Brain topography*. 2010 Jun 1;23(2):165-79.
9. Chuckravanen D, Rajbhandari S, Bester A. Brain signal analysis using EEG and Entropy to study the effect of physical and mental tasks on cognitive performance. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*. 2015 Jul 20;5(1-4):46-59.
10. Shen KQ, Ong CJ, Li XP, Hui Z, Wilder-Smith EP. A feature selection method for multilevel mental fatigue EEG classification. *IEEE transactions on biomedical engineering*. 2007 Jun 18;54(7):1231-7.
11. Shankar H, Pesudovs K. Critical flicker fusion test of potential vision. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2007 Feb 1;33(2):232-9.
12. Arghami S, Ghoreishi A, Kamali K, Farhadi M. Investigating the consistency of mental fatigue measurements by visual analog scale (vas) and flicker fusion apparatus. *Iranian Journal of Ergonomics*. 2013 Sep 15;1(1):66-72.
13. Xu R, Zhang C, He F, Zhao X, Qi H, Zhou P, Zhang L, Ming D. How physical activities affect mental fatigue based on EEG energy, connectivity, and complexity. *Frontiers in neurology*. 2018;9.
14. Rajavenkatanarayanan A, Kanal V, Tsiakas K, Brady J, Calderon D, Wylie G, Makedon F. Towards a robot-based multimodal framework to assess the impact of fatigue on user behavior and performance: a pilot study. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments 2019 Jun 5* ;493-8. ACM.
15. Nematpour L. Investigating mental fatigue and its effect on the performance of the faculty of Health staff by Electroencephalographic Signals. *Journal of Occupational Hygiene Engineering* :45-53.
16. Zhao C, Zhao M, Liu J, Zheng C. Electroencephalogram and electrocardiograph assessment of mental fatigue in a driving simulator. *Accident Analysis & Prevention*. 2012 Mar 1;45:83-90.
17. Boksem MA, Meijman TF, Lorist MM. Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Cognitive brain research*. 2005 Sep 1;25(1):107-16.
18. Bijur PE, Silver W, Gallagher EJ. Reliability of the visual analog scale for measurement of acute pain. *Academic emergency medicine*. 2001 Dec;8(12):1153-7.
19. Nedelcu E, Portase R, Tolas R, Muresan R, Dinsoreanu M, Potolea R, editors. Artifact detection in EEG using machine learning. 2017 13th IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP); 2017: IEEE.
20. Hsu BW, Wang MJ, Chen CY, Chen F. Effective indices for monitoring mental workload while performing multiple tasks. *Perceptual and motor skills*. 2015 Aug;121(1):94-117.
21. Zhang C, Zheng C, Yu X. Evaluation of mental fatigue based on multipsychophysiological parameters and kernel learning algorithms. *Chinese Science Bulletin*. 2008 Jun 1;53(12):1835-47.
22. Fan X, Zhou Q, Liu Z, Xie F. Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search. *Bio-medical materials and engineering*. 2015 Jan 1;26(s1):S1455-63.
23. Craig A, Tran Y, Wijesuriya N, Nguyen H. Regional brain wave activity changes asso-

- ciated with fatigue. *Psychophysiology*. 2012 Apr;49(4):574-82.
24. Pires FO, Silva-Júnior FL, Brietzke C, Franco-Alvarenga PE, Pinheiro FA, de França NM, Teixeira S, Meireles Santos T. Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. *Frontiers in physiology*. 2018 Mar 16;9:227.
 25. Trejo LJ, Kubitz K, Rosipal R, Kochavi RL, Montgomery LD. EEG-based estimation and classification of mental fatigue. *Psychology*. 2015 Apr 3;6(05):572.
 26. Charbonnier S, Roy RN, Bonnet S, Campagne A. EEG index for control operators' mental fatigue monitoring using interactions between brain regions. *Expert Systems with Applications*. 2016 Jun 15;52:91-8.
 27. Smith MR, Chai R, Nguyen HT, Marcora SM, Coutts AJ. Comparing the effects of three cognitive tasks on indicators of mental fatigue. *The Journal of psychology*. 2019 Jun 6:1-25.
 28. Talukdar U, Hazarika SM, Gan JQ. Motor imagery and mental fatigue: inter-relationship and EEG based estimation. *Journal of computational neuroscience*. 2018: 1-22.
 29. Eoh HJ, Chung MK, Kim SH. Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2005 Apr 1;35(4):307-20.
 30. Jap BT, Lal S, Fischer P. Comparing combinations of EEG activity in train drivers during monotonous driving. *Expert Systems with Applications*. 2011 Jan 1;38(1):996-1003.
 31. Hsu BW, Wang MJ. Evaluating the effectiveness of using electroencephalogram power indices to measure visual fatigue. *Perceptual and motor skills*. 2013 Feb;116(1):235-52.
 32. Rosipal R, Trejo LJ, Zaidel E. Atomic Decomposition of EEG for Mapping Cortical Activation. *InTensor Methods for Machine Learning Workshop 2013 Sep*.
 33. Niedermeyer E, da Silva FL. *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
 34. Gergelyfi M, Jacob B, Olivier E, Zénon A. Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. *Frontiers in behavioral neuroscience*. 2015 Jul 13;9:176.
 35. Bowyer SM, Hsieh L, Moran JE, Young RA, Manoharan A, Liao CC, Malladi K, Yu YJ, Chiang YR, Tepley N. Conversation effects on neural mechanisms underlying reaction time to visual events while viewing a driving scene using MEG. *Brain research*. 2009 Jan 28;1251:151-61.
 36. Hsieh L, Young RA, Bowyer SM, Moran JE, Genik II RJ, Green CC, Chiang YR, Yu YJ, Liao CC, Seaman S. Conversation effects on neural mechanisms underlying reaction time to visual events while viewing a driving scene: fMRI analysis and asynchrony model. *Brain Research*. 2009 Jan 28;1251:162-75.