Journal of Occupational Hygiene Engineering *Volume 5, Issue 4, Winter 2019, Pages: 41-49*

Original Article

doi: 10.29252/johe.5.4.41

Mental Fatigue and Its Effect on the Performance of the Faculty of Health Staff Using Electroencephalographic Signals

Abbas Mohammadi[1, 2], Behzad Fouladi Dehaghi[1, 3], Leila Nematpour[4,*]

[1] *Department of Occupational Safety and Health Engineering, Environmental Technologies Research Center, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran*
[2] *Assistant Professor, Department of Occupational Safety and Health Engineering, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran*
[3] *Associate Professor, Department of Occupational Safety and Health Engineering, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran*
[4] *MSc in Occupational Health Engineering, Department of Occupational Safety and Health Engineering, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Leila Nematpour, Department of Occupational Safety and Health Engineering, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. Email: Lnematpour94@gmail.com*

Received: *20/01/2019*
Accepted: *10/03/2019*

How to Cite this Article:
Mohammadi A, Fouladi Dehaghi B, Nematpour L. Mental Fatigue and Its Effect on the Performance of the Faculty of Health Staff Using Electroencephalographic Signals. J Occup Hyg Eng. 2019; 5(4): 41-49. DOI: 10.29252/johe.5.4.41

Abstract

Background and Objective: *Mental fatigue usually occurrs as a result of long-term cognitive activities. Mental fatigue could have important effects on the daily lives of healthy people. Therefore, the purpose of this study was to estimate mental fatigue and its impact on staff performance.*

Materials and Methods: *This descriptive analytic study was performed on 10 staff with a mean age of 36±6.19 years. To evaluate the performance of the participants, they were asked to read a text with spelling errors and then correct them. This test was performed in 5 steps of 15 min during which electroencephalography (EEG) was performed. At each step, the Karolinska Sleepiness Scale (KSS) was completed by the staff. The data were analyzed statistically by the repeated measures ANOVA and Pearson correlation coefficient.*

Results: *According to the results, the brain waves decreased during the experiment, which was indicative of increased mental fatigue. The EEG was recorded as 213.14±59.98 and 77.68±21.68 in the first and last 15 min, respectively. In addition, the participants were reported their fatigue by KSS, based on which the performance of the participants was shown to decrease from 27.3±4.53 to 17.5±5.19.*

Conclusion: *The EEG facilitates the investigation of mental fatigue over different periods of time. As the results indicated, mental fatigue caused by long-term cognitive activities could result in the reduction of the accuracy, focus, and consciousness of the staff. Finally, increased mental fatigue led to the recution of the quality of individuals' performance.*

Keywords: *Electroencephalography; Karolinska Sleepiness Scale; Mental fatigue; Performance*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

Copyright *© 2019 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite*

مقاله پژوهشی

doi: 10.29252/johe.5.4.41

بررسی خستگی ذهنی و تأثیر آن بر عملکرد کارکنان دانشکده بهداشت با استفاده از امواج الکتروانسفالوگرافی

عباس محمدی[۱،۲]، بهزاد فولادی دهقی[۱،۳]، لیلا نعمت‌پور[۴،*]

[۱] مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
[۳] دانشیار، 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

* **نویسنده مسئول:** لیلا نعمت‌پور، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران. ایمیل: *Lnematpour94@gmail.com*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: خستگی ذهنی معمولاً در پی فعالیت‌های طولانی مدت شناختی مشاهده می‌شود. خستگی ذهنی می‌تواند اثرات مهمی بر زندگی روزمره افراد سالم داشته باشد. در این ارتباط، مطالعه حاضر با هدف برآورد خستگی ذهنی و تأثیر آن بر عملکرد کارمندان انجام شد.

مواد و روش‌ها: مطالعه توصیفی– تحلیلی حاضر در مورد ۱۰ کارمند (۶/۱۹±۳۶ سال) انجام شد. به‌منظور بررسی عملکرد از شرکت‌کنندگان خواسته شد که متنی با غلط‌های املایی را مطالعه کنند و آن‌ها را تصحیح نمایند. این آزمایش در پنج مرحله ۱۵ دقیقه‌ای انجام شد و *EEG* (*Electroencephalography*) در تمامی مراحل ثبت گردید. در هر مرحله مقیاس خواب‌آلودگی کارولینسکا (*KSS: Karolinska Sleepiness Scale*) توسط افراد تکمیل شد و داده‌ها توسط آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر و ضریب همبستگی *Pearson* مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که امواج مغزی در طول آزمایش کاهش یافته‌اند که این امر نشان‌دهنده افزایش خستگی ذهنی می‌باشد. در پژوهش حاضر امواج *EEG* ثبت‌شده در ۱۵ دقیقه اول و انتهایی به‌ترتیب معادل ۵۹/۹۸±۲۱۳/۱۴ و ۲۱/۶۸±۷۷/۶۸ به‌دست آمد. شرکت‌کنندگان در این مطالعه خستگی خود را توسط *KSS* گزارش نمودند که بر مبنای نتایج، عملکرد آن‌ها از ۳/۵۳±۲۷/۴ به ۵/۱۹±۱۷/۵ کاهش داشت.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش نشان داده شد که با استفاده از *EEG* می‌توان به بررسی خستگی ذهنی در مدت زمان‌های مختلف پرداخت. همان‌گونه که مشاهده گردید، خستگی ذهنی در فعالیت‌های شناختی طولانی مدت می‌تواند باعث کاهش دقت، تمرکز و هوشیاری کارمندان شود. در پژوهش حاضر افزایش خستگی ذهنی منجر به کاهش عملکرد و کیفیت فعالیت افراد گردید.

واژگان کلیدی: الکتروانسفالوگرافی؛ خستگی ذهنی؛ عملکرد؛ مقیاس خواب‌آلودگی کارولینسکا

مقدمه

خستگی ذهنی عبارت است از خسته‌شدن جسم یا روح که می‌تواند بر اثر استرس، کار زیاد، مصرف زیاد دارو و یا بیماری جسمی و روحی ایجاد شود [۱]. از عوامل ایجادکننده خستگی می‌توان به ساعت 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 شیفت شب اشاره کرد [۲]. نقص در وظایف ادراکی و شناختی منجر به اختلال در عملکرد و کارایی فرد می‌گردد [۳]. مطالعات نشان می‌دهند که با بالارفتن سطح وظیفه، خستگی ذهنی افزایش پیدا می‌کند [۱،۴]. هنگامی که افراد برای مدت زمان طولانی درحال انجام وظیفه‌ای نیازمند استفاده از عملکردهای شناختی هستند، اغلب خستگی ذهنی را تجربه خواهند کرد که انعکاس این خستگی، عملکرد کاری رو به افول، کاهش انگیزه برای ادامه کار و افزایش در میزان و شدت اشتباهات می‌باشد [۵]. مسأله مهم این است که افراد خسته به لحاظ ذهنی اغلب به سختی قادر به حفظ توجه و تمرکز بوده و به راحتی

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]
[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

پریشان و حواس‌پرت می‌شوند که این امر بیانگر اثرات خستگی ذهنی بر میزان توجه می‌باشد [۶]. هنگامی که فرد خسته می‌شود، مشکلاتش در حفظ توجه و تمرکز بر کار افزایش می‌یابد. در فرایند خستگی ذهنی، شخص درحال گذر از حالت هوشیاری به خستگی می‌باشد [۷]. خستگی ذهنی عملکرد ذهن را معیوب کرده و چابکی را کاهش می‌دهد و به‌صورت تدریجی یا یک‌جا باعث کاهش رغبت به انجام کار می‌شود [۲]. علاوه‌براین، خستگی می‌تواند بر دستگاه قلب و عروق تأثیر بگذارد و به‌وجودآورنده بیماری‌های روانی، کندی ذهن، بی‌خوابی، ضعف، کاهش حافظه، افزایش ناخوشی، عدم تعادل و حتی درد ماهیچه‌ای باشد [۸]. همچنین، مشاهده شده است که خستگی مفرط کارکنان در بسیاری از موارد موجب کاهش کمیت و کیفیت فعالیت می‌گردد [۲].

معیارهای مختلفی برای سنجش خستگی ذهنی مطرح شده‌اند که می‌توان آن‌ها را به معیارهای ذهنی، روان‌شناختی، عملکردی و فیزیولوژیکی دسته‌بندی کرد. در روش‌های ذهنی از پرسشنامه‌های استانداردی همچون مقیاس خواب‌آلودگی کرولینسکا (*KSS*) استفاده می‌شود [۹-۱۱]. اعتبارسنجی این مقیاس به وسیله متغیرهای *EEG* توسط *Kaida* انجام شده است که نشان‌دهنده اعتبار بالایی در اندازه‌گیری سطح هوشیاری می‌باشد [۱۲]. برخی از محققان برای سنجش تغییرات فیزیولوژیکی افراد از فعالیت‌های مغزی مانند الکتروآنسفالوگرافی (*EEG*) به‌عنوان وسیله‌ای برای ردیابی حالات شناختی استفاده کرده‌اند [۱۳،۱۴]. با استفاده از این روش می‌توان چهار الگوی الکتریکی مختلف در قشر مغز انسان را ثبت نمود. این الگوهای موجی شامل: امواج بتا (۳۲-۱۳ هرتز؛ نشان‌دهنده سطح هوشیاری بالا و بیداری)، آلفا (۱۳-۲ هرتز؛ نشان‌دهنده آرامش و فرد بیدار با چشمان بسته)، تتا (۴-۲ هرتز؛ نشان‌دهنده خستگی و افسردگی) و دلتا (۴-۲/۵ هرتز؛ نشان‌دهنده سطح هوشیاری پایین و خواب‌آلودگی) می‌باشند [۱۵]. در بیشتر مطالعات مشخص شده است که تغییرات فعالیت تتا و دلتا با خستگی مرتبط می‌باشد [۱۶]. در این راستا، *Zhang* و همکاران نشان دادند که با افزایش سطح خستگی ذهنی فیزیولوژیکی، توان نسبی ریتم‌های تتا، آلفا و بتا کاهش می‌یابد؛ درحالی که توان نسبی ریتم دلتا افزایش پیدا می‌کند [۱۷].

خستگی یکی از مهم‌ترین مسائل در محیط‌های کاری می‌باشد که به شکل‌های مختلفی بروز می‌کند؛ به همین دلیل نمی‌توان آن را با یک آزمون یا تغییر عملکرد ارزیابی نمود [۱۸]. برای اندازه‌گیری خستگی در محیط کاری باید در ابتدای امر ویژگی‌های فیزیولوژیک مرتبط با خستگی را شناخت و سپس اقدام به اندازه‌گیری و ارزیابی نمود [۱۹]. باید خاطرنشان ساخت که نمی‌توان خستگی را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نمود؛ اما می‌توان برخی از علائم مرتبط با خستگی را شناسایی کرد و یا نشانه‌های فیزیولوژیک و روانی مرتبط با این علائم را اندازه‌گیری نمود؛ از این رو، در مطالعه حاضر تلاش شده است تا از یک سو خستگی ذهنی کارمندان به وسیله *EEG* که یک روش عینی می‌باشد در کنار یک روش ذهنی مورد بررسی قرار گیرد و از سوی دیگر بتوان عملکرد افراد را به مرور زمان مورد ارزیابی قرار داد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه توصیفی- تحلیلی حاضر ۱۰ کارمند دانشکده بهداشت (پنج مرد و پنج زن) با محدوده سنی ۲۵ تا ۵۵ سال (۶/۱۹±۳۶) مشارکت نمودند. پیش از انجام آزمون، پرسشنامه ارزیابی شیوه زندگی که در زمینه موارد منع پزشکی مانند بیماری شدید، مصرف دارو، سوءمصرف مواد مخدر و مشکلات روحی یا روانی می‌باشد، به‌عنوان معیار ورود به مطالعه مورد استفاده قرار گرفت [۲۰] و افرادی که بر مبنای این معیار شرایط شرکت در پژوهش را نداشتند از مطالعه کنار گذاشته شدند. این مطالعه رأس ساعت ۸:۳۰ صبح به مدت ۷۵ دقیقه در یک محیط آزمایشگاهی کنترل‌شده از نظر دما و صدا انجام شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد که از مصرف کافئین یا چای تقریباً چهار ساعت قبل از مطالعه و مصرف سیگار ۲۴ ساعت قبل از آن اجتناب نمایند [۲۱]. شایان ذکر می‌باشد که الزامات رعایت اخلاق در پژوهش در مطالعه حاضر رعایت گردیده است؛ به نحوی که مشارکت‌کنندگان ابتدا از محتوای آزمون مطلع شده و سپس به‌طور داوطلبانه در مطالعه شرکت نمودند.

اندازه‌گیری فیزیولوژیکی

در این پژوهش از دستگاه پرتابل *NeXus-4* ساخت کمپانی مایند مدیا (*Mind Media B.V. Company, Netherlands*) با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۲۴ هرتز و به‌صورت ۲۴ بیتی با استفاده از الکترودهای فعال سیگنال‌های *EEG* استفاده گردید. سپس، اطلاعات ثبت‌شده به کامپیوتر انتقال داده شدند و به وسیله نرم‌افزار *BioTrace* پردازش گردیدند. این نرم‌افزار برای پردازش سیگنال *EEG* و یا دیگر داده‌های الکتروفیزیولوژیکی و نیز حذف ارتیفکت و اغتشاش، سیگنال‌ها را مورد پردازش قرار می‌دهد. برای قراردادن الکترودها از استاندارد بین‌المللی ۲۰-۱۰ به همراه کلاه قابل تنظیم مخصوص ثبت *EEG* استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری خستگی ذهنی، الکترودهای *Ag/AgCl* در نقاط P_4، P_3، F_4 و F_3 با استفاده از ژل *Nuprep* (جهت آماده‌سازی پوست) روی سر قرار گرفتند. مطابق با دستورالعمل دستگاه، الکترود زمینه یا مرجع A_2 (سفید) بر روی گوش راست قرار داده شد [۲۲].

آزمون خستگی ذهنی

پیش از شروع آزمون از شرکت‌کنندگان خواسته شد به مدت ۷۵ دقیقه در پنج مرحله ۱۵ دقیقه‌ای روی صندلی تهیه‌شده برای انجام آزمون مستقر شوند تا کلاه براساس سایز سر

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

شرکت‌کنندگان و مطابق با دستورالعمل سازنده تنظیم گردد. در مرحله اول شرکت‌کنندگان بدون انجام هیچ‌گونه فعالیتی می‌نشستند؛ اما در مرحله دوم تا پنجم به‌منظور بررسی دقت و عملکرد، یک متن ادبی را مطالعه نمودند و تعداد غلط‌های املایی موجود در متن را مشخص کردند؛ به‌طور همزمان فعالیت امواج مغزی آن‌ها توسط *EEG* ثبت شد. در ابتدای مطالعه و پس از هر ۱۵ دقیقه، مقیاس *KSS* توسط افراد تکمیل گردید تا هوشیاری و شدت آن طی آزمایش به‌دست آید. در ارتباط با این مقیاس، شرکت‌کنندگان مجاز به نشان‌دادن یک مقیاس نه امتیازی (۱: کاملاً هوشیار و ۹: بسیار خواب‌آلود) بودند که به‌ترتیب پایین‌ترین و بالاترین مقدار شدت خستگی را نشان می‌دهد [۲۳].

آنالیز *EEG*

پس از ثبت سیگنال، مرحله اساسی برای استخراج اطلاعات مهم از آن، پیش‌پردازش سیگنال می‌باشد. سیگنال *EEG* ثبت‌شده آغشته به نویز و مصنوعاتی است که از جایی غیر از مغز منشأ می‌گیرند. منبع نویز و مصنوعات موجود در سیگنال شامل: حرکت ماهیچه‌های بدن، حرکت چشم و پلک‌زدن، ضربان قلب و تجهیزات الکتریکی می‌باشد. نویزهایی همچون فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز برق شهر نیز بر سیگنال‌های *EEG* تأثیر دارند. برای حذف اثر نویز برق شهر عموماً سعی می‌شود که وسایل ثبت تا حد امکان ایزوله گردند. *NeXus-4* با استفاده از تکنیک قابل‌حمل‌بودن از کابل‌های پوشش‌داده‌شده با کربن استفاده می‌کند که هر کابل از سیستم تا انتهای الکترود نسبت به پالس‌های اضافی محافظت می‌شود و نیازی به فیلترهای کاهش‌دهنده نویز ندارد [۲۴]. به‌منظور حذف مصنوعات فیزیولوژی همچون آرتیفکت‌ها و حرکات چشم، داده‌ها توسط نرم‌افزار *BioTrace* سازگار با خود دستگاه فیلتر گردیدند. جهت تحلیل کمی نتایج و پردازش سیگنال‌ها نیز از یک فرایند ریاضی پیچیده به نام الگوریتم تبدیل فوریه سریع (*FFT: Fast Fourier Transform*) استفاده می‌شود. شایان ذکر است که تمام داده‌ها توسط نرم‌افزار *BioTrace* و با استفاده از *FFT*، امواج ثبت‌شده به عدد و اعداد نیز به نوبه خود به تصاویر و نمودارها تبدیل شدند [۲۲].

آنالیز داده‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی نرمال‌بودن توزیع داده‌ها از آزمون *Kolmogorov–Smirnov* استفاده گردید. سپس برای بررسی اثرات زمان بر متغیرهای مختلف (مانند عملکرد و اندازه‌گیری خستگی ذهنی) از ضریب همبستگی *Pearson* استفاده شد. علاوه‌براین، از آزمون t زوجی برای مقایسه ابزار متغیرها در مراحل ابتدایی و انتهایی بهره گرفته شد. همچنین، آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر برای *KSS*، اندازه‌گیری‌های فعالیت *EEG* و عملکرد در هر مرحله صورت گرفت. در ادامه، تجزیه و تحلیل چندمتغیره واریانس برای زمان و عملکرد انجام شد و نسبت‌های F- چندمتغیره قابل مقایسه با استفاده از درجه تک آزادی به وسیله نرم‌افزار *SPSS 22* تجزیه گردید.

یافته‌ها

در این مطالعه یافته‌ها به چندین بخش تقسیم شده‌اند که معیار ذهنی *KSS* و به دنبال آن تجزیه و تحلیل *EEG* و همچنین بررسی ارتباط عملکرد کارمندان با استفاده از آن‌ها انجام شده است.

مقیاس خودگزارش‌دهی

مقیاس خودگزارش‌دهی تکمیل‌شده توسط شرکت‌کنندگان در شکل ۱ ارائه شده است. شرکت‌کنندگان در این آزمایش گزارش نمودند که وقتی کار تمام می‌شود، احساس خستگی و خواب‌آلودگی می‌کنند. در این پژوهش نمرات *KSS* از طریق تجزیه و تحلیل آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر با زمان اندازه‌گیری در هر مرحله بررسی شدند. میانگین و انحراف معیار مقیاس خودارزیابی (*KSS*) در ۱۵ دقیقه اول و آخر به‌ترتیب معادل ۲/۷±۰/۸۳ و ۵/۷±۱/۱۵ ($P\leq$۰/۰۵، F=۱۱/۴۸) به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهند که بین *KSS* در ۱۵ دقیقه اول و آخر اختلاف معناداری وجود دارد.

دقت و عملکرد

در مرحله اول شرکت‌کنندگان بدون هیچ‌گونه فعالیت ذهنی بودند. در ادامه میانگین و انحراف معیار شرکت‌کنندگان از مرحله ۲ تا ۵ به‌ترتیب معادل ۲۷/۴±۳/۵۳، ۲۴±۴/۶۹، ۲۰/۷±۴/۹۲ و ۱۷/۵±۵/۱۹ به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر حاصل از عملکرد در مرحله ۲ تا ۵ با زمان اندازه‌گیری معادل ($P\leq$۰/۰۵، F=۶۸/۵۱) بود. نتایج نشان دادند که عملکرد کارکنان در ۱۵ دقیقه اول و آخر اختلاف معناداری وجود دارد.

آنالیز امواج *EEG*

تغییرات قدرت آلفا، بتا و تتا در قسمت فرونتال و پاریتال در آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر با زمان اندازه‌گیری (۱۵ دقیقه اول تا آخر) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این تغییرات در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، میانگین توان موج آلفا در آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر با زمان اندازه‌گیری معادل (F=۱/۸۹) بوده است که نشان‌دهنده کاهش میانگین توان موج از ۱۵ دقیقه ابتدایی تا انتهایی می‌باشد. نتایج آزمون t زوجی نیز گویای آن بودند که تغییرات توان آلفا در ۱۵ دقیقه اول و آخر اختلاف معناداری دارد. از سوی دیگر، میانگین توان موج بتا در آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر با زمان اندازه‌گیری معادل (F=۰/۵۸) به‌دست آمد که نشان می‌دهد موج بتا در ۱۵ دقیقه انتهایی نسبت به ۱۵ دقیقه ابتدایی کاهش

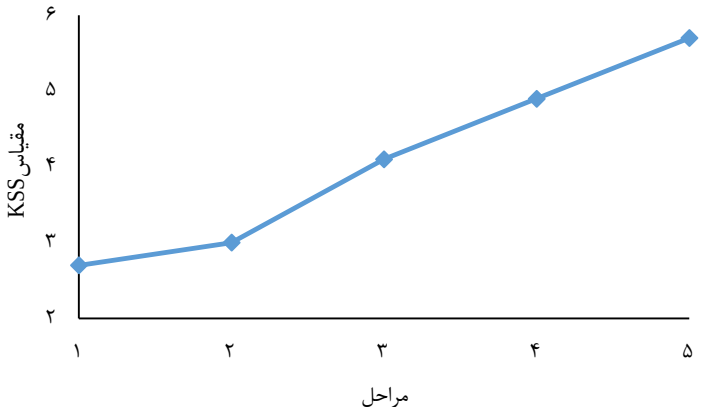
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

یافته است. این نتایج بیانگر آن بودند که تغییرات توان بتا در ۱۵ دقیقه اول و آخر اختلاف معناداری دارد. علاوه‌براین، میانگین توان موج تتا در آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر با زمان اندازه‌گیری معادل (F=۷/۷۷) بود. نتایج نشان می‌دهند که موج بتا دارای تغییرات جزئی در مرحله انتهایی نسبت به مرحله ابتدایی بوده است. نتایج آزمون t زوجی نیز حاکی از آن بودند که تغییرات توان تتا در ۱۵ دقیقه اول و آخر اختلاف معناداری وجود دارد. در ادامه، تغییرات فعالیت EEG در آزمون آنالیز واریانس اندازه‌گیری مکرر با زمان اندازه‌گیری (۱۵ دقیقه اول تا آخر) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که بر مبنای نتایج، متوسط توان EEG در ۱۵ دقیقه اول نسبت به ۱۵ دقیقه انتهایی (F=۵/۹۵) کاهش داشت. نتایج آزمون t زوجی نشان دادند که تغییرات توان EEG در ۱۵ دقیقه اول و آخر اختلاف معناداری داشته‌اند.

یافته‌های حاصل از امواج ثبت‌شده آلفا، بتا و تتا در شکل ۲ نشان می‌دهند که این امواج در ۱۵ دقیقه اول (استراحت) تا دقیقه ۳۰، سیر نزولی داشته‌اند. در مرحله اول موج تتا بیشتر از امواج دیگر بوده است؛ اما در مرحله دوم جایگزین موج آلفا شده و در ادامه در مرحله سوم، موج بتا بیشتر از موج تتا بوده است. علاوه‌براین، در مرحله چهارم امواج به یکدیگر نزدیک بوده‌اند؛ اما در مرحله آخر، آلفا و بتا به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار بوده‌اند؛ اما در مجموع تمامی امواج سیر نزولی داشته‌اند.

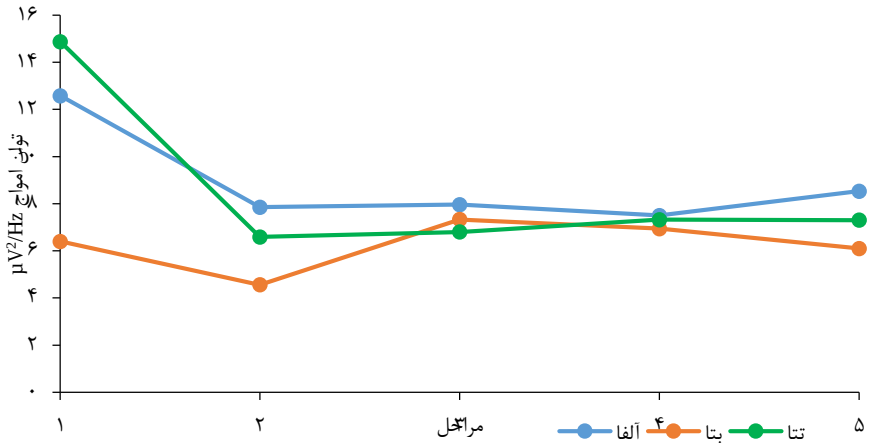
توان EEG بین ۱۰ شرکت‌کننده در پنج مرحله آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، از



شکل ۱: مقیاس خودگزارش‌دهی KSS در ۵ مرحله (۱: ۰ تا ۱۵ دقیقه؛ ۲: ۱۵ تا ۳۰ دقیقه؛ ۳: ۳۰ تا ۴۵ دقیقه؛ ۴: ۴۵ تا ۶۰ دقیقه؛ ۵: ۶۰ تا ۷۵ دقیقه)

جدول ۱: میانگین توان امواج مختلف در ۱۵ دقیقه ابتدایی و انتهایی

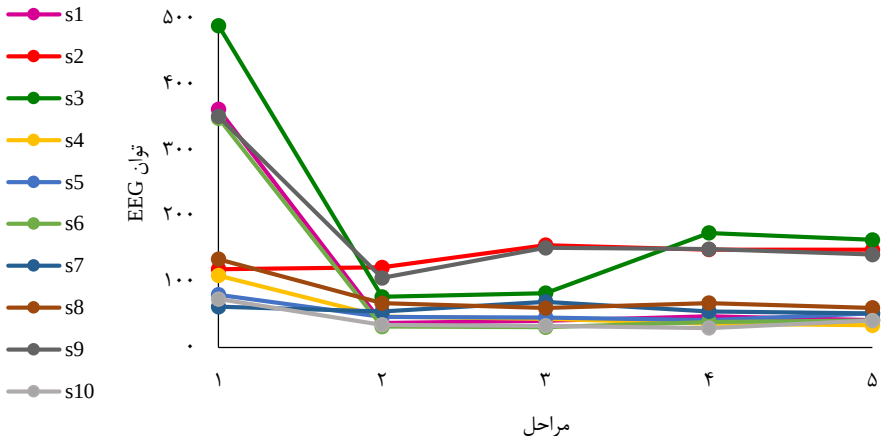
پارامتر	میانگین توان موج (میکرو ولت مربع بر هرتز) ۱۵ دقیقه ابتدایی (میانگین±انحراف معیار)	میانگین توان موج (میکرو ولت مربع بر هرتز) ۱۵ دقیقه انتهایی (میانگین±انحراف معیار)	سطح معناداری
آلفا	۱۲/۵۸±۹/۹۸	۸/۵۳±۵/۳۶	۰/۰۰۳
بتا	۶/۴±۳/۵۵	۶/۱±۲/۲۸	۰/۰۰۴
تتا	۱۴/۸۷±۹/۶۵	۷/۳±۳/۳۸	۰/۰۲
EEG	۲۱۳/۱۴±۵۹/۹۸	۷۷/۶۸±۲۱/۶۸	۰/۰۵



[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

شکل ۲: توان امواج آلفا، بتا و تتا در ۵ مرحله (۱: ۰ تا ۱۵ دقیقه؛ ۲: ۱۵ تا ۳۰ دقیقه؛ ۳: ۳۰ تا ۴۵ دقیقه؛ ۴: ۴۵ تا ۶۰ دقیقه؛ ۵: ۶۰ تا ۷۵ دقیقه)



شکل ۳: توان *EEG* بین ۱۰ شرکت‌کننده در پنج مرحله (۱: ۰ تا ۱۵ دقیقه؛ ۲: ۱۵ تا ۳۰ دقیقه؛ ۳: ۳۰ تا ۴۵ دقیقه؛ ۴: ۴۵ تا ۶۰ دقیقه؛ ۵: ۶۰ تا ۷۵ دقیقه)

مرحله اول که افراد بدون هیچ‌گونه فعالیت ذهنی بوده‌اند تا مرحله دوم که شروع به انجام فعالیت ذهنی نمودند، بیشتر افراد کاهش نسبتاً شدید توان موج *EEG* را نشان داده‌اند که این امر حاکی از افزایش ناگهانی خستگی ذهنی در آن‌ها در مرحله دوم با شروع فعالیت ذهنی می‌باشد. در ادامه مشاهده می‌شود که افراد در مراحل مختلف انجام فعالیت ذهنی، تغییرات زیادی تا پایان انجام آزمایش نداشته‌اند و برخی از آن‌ها تغییرات قابل مشاهده‌ای را در تمامی مراحل آزمایش از خود نشان نداده‌اند؛ به‌طوری که نمودار آن‌ها از مرحله ابتدایی تا انتهایی نوسانات بسیار کمی داشته است. در ارتباط با شرکت‌کننده شماره ۳ مشاهده می‌شود که این فرد به همان سرعتی که در مرحله دوم کاهش در فعالیت توان *EEG* داشته است، در گذر از مرحله سوم به چهارم، افزایش در توان *EEG* را نشان داده است؛ اما در مراحل دوم تا سوم و از مرحله چهارم به پنجم به‌صورت ثابت بوده است. برخی از شرکت‌کنندگان دیگر از جمله شرکت‌کنندگان شماره ۲ و ۷ در ابتدای آزمون میانگین توان پایینی داشته‌اند و در ادامه با تغییرات جزئی، افزایش را نشان داده‌اند؛ اما در مجموع این افراد در تمام مراحل دارای میانگین توان پایینی بوده‌اند.

بحث

مطالعه حاضر به بررسی تغییرات توان *EEG* و شاخص‌های آن در بین کارمندان دانشکده بهداشت در شرایط بدون فعالیت ذهنی و همراه با فعالیت ذهنی پرداخته است. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که جهت ارزیابی تلاش فکری کارکنان در شرایط کاری نیاز است که از ترکیب معیارهای فیزیولوژیکی، ذهنی و عملکردی استفاده شود [۲۵،۲۶]. بر این اساس، در مطالعه حاضر از ترکیب *EEG*، مقیاس *KSS* و انجام وظیفه مطالعه به‌عنوان ارزیابی عملکرد ذهنی کارمندان دانشکده بهداشت استفاده گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهند که عملکرد شرکت‌کنندگان در دوره‌های آزمایش بیش از حد کاهش یافته است. این کاهش در عملکرد به همراه افزایش خستگی به وسیله مقیاس خودگزارش‌دهی خستگی توسط شرکت‌کنندگان اعلام شده است. علاوه‌براین، قدرت طیفی اندازه‌گیری امواج تتا، آلفا و بتا در طول زمان با وظیفه کاهش یافته است. این نتایج، یافته‌های حاصل از مطالعات گذشته که در آن‌ها کاهش قدرت طیفی امواج در افزایش خستگی ذهنی گزارش شده است را تأیید می‌کند [۲۷-۲۹]؛ بنابراین، این آزمایش موفق به القای خستگی ذهنی در شرکت‌کنندگان بوده است.

همان‌گونه که در تغییرات امواج آلفا، بتا و تتا مشاهده می‌شود، این امواج در کل آزمایش روند نزولی داشتند که این امر نشان‌دهنده خستگی ذهنی می‌باشد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که با افزایش سطح خستگی ذهنی، توان نسبی ریتم‌های تتا، آلفا و بتا کاهش می‌یابد [۲۷،۲۸]. در این ارتباط، *Pires* و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی خستگی ذهنی و تأثیر آن بر عملکرد دوچرخه‌سواران به وسیله *EEG* پرداختند. نتایج نشان دادند که با افزایش مدت زمان فعالیت، خستگی ذهنی افراد افزایش یافته و در نهایت موجب کاهش عملکرد آن‌ها شده است [۳۰]. در مطالعه *Arnau* و همکاران (۲۰۱۷) نیز که در آن به مقایسه خستگی ذهنی در میان کارگران مسن و جوان به وسیله *EEG* پرداخته شد، نتایج گویای آن بودند که با گذشت زمان امواج تتا، آلفا و بتا کاهش یافته است. شرکت‌کنندگان نیز به وسیله مقیاس خودگزارش‌دهی این خستگی را تأیید نمودند [۳۱]. از سوی دیگر، در مطالعه *Leonard* و همکاران (۲۰۱۵) که در آن به برآورد و طبقه‌بندی خستگی ذهنی مبتنی بر *EEG* و مقیاس بصری آنالوگ پرداخته شد، نتایج نشان دادند که خستگی ذهنی در مقیاس بصری افزایش داشته و عملکرد افراد به مرور زمان کاهش یافته است. در مقدار توان موج آلفا و تتا نیز کاهش نشان داده شد [۲۹]. در مطالعه دیگری *Charbonnier* و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی خستگی ذهنی در اپراتورهای کنترل با استفاده از *EEG* و مقیاس *KSS*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]
[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

پرداختند. نتایج حاکی از آن بودند که اپراتورها در حین فعالیت، خستگی ذهنی را گزارش نموده‌اند و عملکرد آن‌ها در طول آزمایش کاهش داشته است. در مقدار توان موج آلفا نیز کاهش مشاهده گردید [۳۲]. علاوه‌براین، در مطالعه‌ای که *Zhao* و همکاران (۲۰۱۲) به‌منظور بررسی خستگی ذهنی در رانندگان انجام دادند، گزارش گردید که موج تتا افزایش یافته است؛ اما موج بتا کاهش داشته است [۲۱]. سیگنال‌های *EEG* شامل امواج مغزی متفاوتی هستند که بازتاب‌دهنده فعالیت الکتریکی مغز بر مبنای جانمایی الکترودها و نواحی مختلف مغز می‌باشد. مطالعات نشان داده‌اند که برخی از کانال‌ها رابطه مستقیمی با افزایش خستگی ذهنی داشته و برخی دیگر رابطه معکوس دارند. بدین‌معنا که فعالیت مغزی در برخی از نواحی سر با افزایش خستگی ذهنی افزایش یافته و در برخی نواحی کمتر می‌شود؛ البته با توجه به نقش بیشتر کانال‌های ثبت *EEG* می‌توان گفت که تمام نواحی سر در بروز خستگی ذهنی اثرگذار هستند [۳۳،۳۴]. از این نتایج می‌توان این‌گونه استنباط نمود که جانمایی الکترودها می‌تواند بر تغییرات امواج مغزی تأثیر گذاشته و در برخی نواحی کاهش و در نواحی دیگر افزایش را به دنبال داشته باشد.

از سوی دیگر، نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که امواج مغزی در مراحل شروع فعالیت ذهنی تا پایان آزمایش تغییراتی داشته و جایگزین یکدیگر شده‌اند. در مرحله اول آزمایش که افراد بدون فعالیت ذهنی بودند، موج تتا در بالاترین موقعیت نمودار بود. امواج تتا با انواع مختلف وضعیت‌های روان‌شناختی شامل: خواب‌آلودگی و سطح پایین هوشیاری به رسمیت شناخته شده‌اند؛ به همین دلیل با کاهش پردازش اطلاعات مرتبط هستند. این امواج به‌طور عمده در نواحی آهیانه‌ای و گیجگاهی ایجاد می‌شوند. [۳۵]. با شروع فعالیت ذهنی، موج تتا جایگزین موج آلفا شده و مقدار آن کاهش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده افزایش فعالیت فکری و شروع خستگی ذهنی در افراد می‌باشد. شایان ذکر است که موج آلفا در افراد نرمال در زمان بیداری کامل و حالت استراحت مغزی یافت می‌شود. این امواج با شدت بیشتری در ناحیه پس سری ایجاد می‌شوند؛ اما می‌توان آن‌ها را در نواحی آهیانه‌ای و پیشانی جمجمه نیز ثبت نمود [۳۵]. موج بتا در مرحله اول کمترین مقدار را در نمودار از خود نشان داده است؛ اما در ادامه با افزایش در میزان موج بتا، این مقدار از موج تتا نیز بیشتر شده است؛ اما در ادامه آزمایش مقدار آن از موج آلفا و تتا کمتر گردیده است. تغییرات ریتم بتا با خستگی ذهنی مرتبط می‌باشد. ریتم‌های بتا به‌طور کلی به‌عنوان امواج سریعی شناخته می‌شوند که با افزایش هوشیاری، تحریک و هیجان همراه هستند [۳۶]. هنگامی که ذهن در حالت هوشیاری کامل بوده و فعالیت داشته باشد، موج بتا با قدرت بیشتری در نواحی آهیانه‌ای و قدامی مشاهده می‌شود و در حالتی که شخص آرامش و تمرکز داشته باشد، افزایش می‌یابد. همچنین، در فعالیت ذهنی محاسبه‌ای (حتی در هنگام یک جمع ساده) نیز فعال می‌باشد. علاوه‌براین، این فرکانس در برخی از نقاط سر تحت شرایط فکرکردن و هوشیاری شخص نسبت به خود و محیط وی ایجاد می‌شود. فعالیت ذهنی در چنین حالتی، فعالیت پیچیده مغزی می‌باشد [۳۵]. در نهایت باید گفت که امواج آلفا، تتا و بتا از بیشترین مقدار به کمترین مقدار در نمودار تغییر داشته‌اند که این امر نشان‌دهنده تغییرات امواج مغزی و افزایش خستگی ذهنی شرکت‌کنندگان می‌باشد.

علاوه‌براین، در این مطالعه به مقایسه خستگی ذهنی بین شرکت‌کنندگان پرداخته شد. نتایج نشان دادند که شرکت‌کنندگان خستگی ذهنی را در روند آزمایش تجربه کرده‌اند؛ اما در افراد مختلف، تفاوت‌هایی مشاهده شده است؛ به‌طوری که برخی از افراد با شروع فعالیت ذهنی، تغییرات بسیار شدیدی داشته‌اند؛ اما برخی از آن‌ها خستگی ذهنی کمتری را تجربه نموده‌اند. در این راستا، می‌توان این‌گونه استنباط نمود که تغییرات فردی توانسته است بر روند آزمایش تأثیر بگذارد. برخی از مطالعات بیان نموده‌اند هنگامی که وابستگی‌های بصری افزایش می‌یابد، گزارش‌های مربوط به خستگی ذهنی نیز افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا برای کسب اطلاعات کافی از صحنه بصری که می‌تواند به احساس خستگی بیشتر کمک کند، توجه بیشتری مورد نیاز می‌باشد. نتایج نشان داده‌اند که سطح هوشیاری افراد و سطح هیجانی مغز پس از اتمام کار به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [۳۷،۳۸]. سازگاری، انگیزه و تفاوت بین فردی متغیرهای مهمی در بروز خستگی ذهنی هستند. همچنین، این احتمال وجود دارد که وقوع خستگی ذهنی از یک فرد به فرد دیگر متفاوت بوده و به مدت زمان و یا مشکل انجام وظیفه ذهنی مرتبط باشد؛ بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که تغییرات فیزیولوژیکی، روحی و رفتاری در تمامی افراد مشاهده شود. اهمیت مدت زمان کار در ارتباط با تحریک خستگی ذهنی در مطالعه *Hagger* و همکاران نیز مورد تأکید قرار گرفته است [۳۹].

در پژوهش حاضر به بررسی خستگی ذهنی و تأثیر آن بر عملکرد گروه خاصی که تحت شرایط دمایی و محیطی مناسب قرار داشتند، پرداخته شد. با توجه به اینکه فاکتورهای مختلفی بر بروز خستگی ذهنی تأثیر می‌گذارند، می‌توان پیشنهاد نمود که در مطالعات آتی به بررسی تأثیر شرایط محیطی در صنایع مختلف همچون صدا، روشنایی، تنش‌های حرارتی و دیگر عوامل پرداخت. همچنین، می‌توان افرادی که به‌طور همزمان به فعالیت‌های فیزیکی و ذهنی مشغول می‌باشند را مورد بررسی قرار داد تا بتوان تأثیر آن‌ها بر خستگی ذهنی را تجزیه و تحلیل نمود. از سوی دیگر، محدودیت‌هایی که در مطالعه وجود داشت می‌تواند بر نتایج تأثیرگذار باشد. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به تعداد کم حجم نمونه اندازه‌گیری‌شده اشاره نمود. در صورتی که از حجم

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

نمونه بزرگ‌تری استفاده شود، می‌توان احتمال داد که نتایج دقیق‌تری به‌دست خواهد آمد. از دیگر محدودیت‌های این مطالعه، تعداد کم کانال‌های *EEG* اندازه‌گیری‌شده بود. در این ارتباط، با افزایش تعداد کانال‌ها می‌توان به بررسی دقیق‌تر خستگی ذهنی پرداخت.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که سطح خستگی ذهنی در کارمندان دانشکده بهداشت بالا می‌باشد. همچنین، مشاهده گردید که بین خستگی ذهنی و کاهش دقت، تمرکز و هوشیاری افراد ارتباط مثبتی وجود دارد که می‌تواند باعث کاهش عملکرد آن‌ها گردد؛ از این رو به‌منظور سنجش پیامدهای جبران‌ناپذیر تأثیر خستگی ذهنی طولانی مدت بر سلامتی افراد می‌بایست از یک معیار قابل اعتماد استفاده نمود. نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن بودند که امواج مغزی می‌توانند شاخص‌های خوبی برای پیش‌بینی زودهنگام خستگی ذهنی باشند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد سرکار خانم نعمت‌پور در رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای بوده و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه جندی‌شاپور اهواز به شماره ۹۷۱۰۴-*U* انجام شده است.

REFERENCES

1. *Lorist MM, Bezdan E, ten Caat M, Span MM, Roerdink JB, Maurits NM. The influence of mental fatigue and motivation on neural network dynamics; an EEG coherence study. Brain Res. 2009;**1270**:95-106. PMID: 19306850 DOI: 10.1016/j.brainres.2009.03.015*
2. *Halvani GH, Baghianimoghadam MH, Rezaei MH. Fatigue situation in tile industries workers. Iran Occupat Health. 2007;**4**(3):57-63. [Persian]*
3. *Philip P, Sagaspe P, Taillard J, Valtat C, Moore N, Åkerstedt T, et al. Fatigue, sleepiness, and performance in simulated versus real driving conditions. Sleep. 2005;**28**(12):1511-6. PMID: 16408409*
4. *Chuckravanen D. Multiple system modelling and analysis of physiological and brain activity and performance at rest and during exercise. Tyne, England: Northumbria University; 2012.*
5. *van der Linden D. The urge to stop: the cognitive and biological nature of acute mental fatigue. Washington, DC, US: American Psychological Association; 2011. P. 149-64.*
6. *Faber LG, Maurits NM, Lorist MM. Mental fatigue affects visual selective attention. PloS One. 2012;**7**(10):e48073. PMID: 23118927 DOI: 10.1371/journal.pone.0048073*
7. *van der Linden D, Eling P. Mental fatigue disturbs local processing more than global processing. Psychol Res. 2006;**70**(5):395-402. PMID: 15968553 DOI: 10.1007/s00426-005-0228-7*
8. *Wright RA, Stewart CC, Barnett BR. Mental fatigue influence on effort-related cardiovascular response: extension across the regulatory (inhibitory)/non-regulatory performance dimension. Int J Psychophysiol. 2008;**69**(2):127-33. PMID: 18499290 DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2008.04.002*
9. *Anund A, Ahlström C, Kecklund G, Akerstedt T. Rumble strips in centre of the lane and the effect on sleepy drivers. Ind Health. 2011;**49**(5):549-58. PMID: 21804273*
10. *Oginska H, Fafrowicz M, Golonka K, Marek T, Mojsa-Kaja J, Tucholska K. Chronotype, sleep loss, and diurnal pattern of salivary cortisol in a simulated daylong driving. Chronobiol Int. 2010;**27**(5):959-74. PMID: 20636209 DOI: 10.3109/07420528.2010.489412*
11. *Putilov AA, Donskaya OG. Construction and validation of the EEG analogues of the Karolinska sleepiness scale based on the Karolinska drowsiness test. Clin Neurophysiol. 2013;**124**(7):1346-52. PMID: 23474052 DOI: 10.1016/j.clinph.2013.01.018*
12. *Kaida K, Takahashi M, Akerstedt T, Nakata A, Otsuka Y, Haratani T, et al. Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. Clin Neurophysiol. 2006;**117**(7):1574-81. PMID: 16679057 DOI: 10.1016/j.clinph.2006.03.011*
13. *Vecchiato G, Astolfi L, De Fallani F, Cincotti F, Mattia D, Salinari S, et al. Changes in brain activity during the observation of TV commercials by using EEG, GSR and HR measurements. Brain Topogr. 2010;**23**(2):165-79. PMID: 20033272 DOI: 10.1007/s10548-009-0127-0*
14. *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. 2015;**5**(1-4):46-59.*
15. *Shen KQ, Ong CJ, Li XP, Hui Z, Wilder-Smith EP. A feature selection method for multilevel mental fatigue EEG classification. IEEE Trans Biomed Eng. 2007;**54**(7):1231-7. PMID: 17605354 DOI: 10.1109/TBME.2007.890733*
16. *Anund A, Kecklund G, Peters B, Forsman A, Lowden A, Akerstedt T. Driver impairment at night and its relation to physiological sleepiness. Scand J Work Environ Health. 2008;**34**(2):142-50. PMID: 18470435*
17. *Zhang C, Zheng C, Pei X, Ouyang Y. Power spectrum analysis on the multiparameter electroencephalogram features of physiological mental fatigue. Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi. 2009;**26**(1):162-6. PMID: 19334577*
18. *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 Occupat Health. 2017;**14**(2):82-92. [Persian]*
19. *Ghasemkhani M, Abbasinia M, Mahmoodkhani S, Aghaee 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 Occupat Health. 2013;**10**(2):79-86. [Persian]*
20. *Ghavidel N, Samadi M, Kharmanbiz A, Asadi A, Feyzi A, Ahmadi R, et al. Investigation of substance use prevalence and the interrelated factors involved through third-year high school students in Nazarabad city from January 2008 to June 2008. Razi J Med Sci. 2012;**19**(97):28-36.*
21. *Zhao C, Zhao M, Liu J, Zheng C. Electroencephalogram and electrocardiograph assessment of mental fatigue in a driving simulator. Accid Anal Prev. 2012;**45**:83-90. PMID: 22269488 DOI: 10.1016/j.aap.2011.11.019*
22. *Hsu BW, Wang MJ, Chen CY, Chen F. Effective indices for monitoring mental workload while performing multiple tasks. Percept Mot Skills. 2015;**121**(1):94-117. PMID: 26226284 DOI: 10.2466/22.PMS.121c12x5*
23. *Zare R, Choobineh A, Keshavarzi S, Moghateli S. Investigation of the relationship of sleep quality, sleepiness and sickness absence. Iran J Ergon. 2016;**4**(2):1-7. DOI: 10.21859/joe-040230*
24. *Núñez IMB. EEG artifact detection. Czechia: Czech Technical University in Prague; 2011.*
25. *Abd-Elfattah HM, Abdelazeim FH, Elshennawy S. Physical and cognitive consequences of fatigue: a review. J Adv Res. 2015;**6**(3):351-8. PMID: 26257932 DOI: 10.1016/j.jare.2015.01.011*
26. *Baumeister J, Reinecke K, Liesen H, Weiss M. Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. Eur J Appl Physiol. 2008;**104**(4):625-31. PMID: 18607621 DOI: 10.1007/s00421-008-0811-x*
27. *Fan X, Zhou Q, Liu Z, Xie F. Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search. Biomed Mater Eng. 2015;**26**(Suppl 1):S1455-63. PMID: 26405908 DOI: 10.3233/BME-151444*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]

28. *Craig A, Tran Y, Wijesuriya N, Nguyen H. Regional brain wave activity changes associated with fatigue. Psychophysiology. 2012;**49**(4):574-82. PMID: 22324302 DOI: 10.1111/j.1469-8986.2011.01329.x*
29. *Trejo LJ, Kubitz K, Rosipal R, Kochavi RL, Montgomery LD. EEG-based estimation and classification of mental fatigue. Psychology. 2015;**6**(5):572. DOI: 10.4236/psych.2015.65055*
30. *Pires FO, Silva-Júnior FL, Brietzke C, Franco-Alvarenga PE, Pinheiro FA, de França NM, et al. Mental fatigue alters cortical activation and psychological responses, impairing performance in a distance-based cycling trial. Front Physiol. 2018;**9**:227. PMID: 29615923 DOI: 10.3389/fphys.2018.00227*
31. *Arnau S, Möckel T, Rinkenauer G, Wascher E. The interconnection of mental fatigue and aging: an EEG study. Int J Psychophysiol. 2017;**117**:17-25. PMID: 28400244 DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.04.003*
32. *Charbonnier S, Roy RN, Bonnet S, Campagne A. EEG index for control operators' mental fatigue monitoring using interactions between brain regions. Expert Syst Appl. 2016;**52**:91-8. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.01.013*
33. *Hsu BW, Wang MJ. Evaluating the effectiveness of using electroencephalogram power indices to measure visual fatigue. Percept Mot Skills. 2013;**116**(1):235-52. PMID: 23829150 DOI: 10.2466/29.15.24.PMS.116.1.235-252*
34. *Rosipal R, Trejo LJ, Zaidel E. Atomic decomposition of EEG for mapping cortical activation. Prague: Tensor Methods for Machine Learning Workshop; 2013.*
35. *Lal SK, Craig A. Driver fatigue: electroencephalography and psychological assessment. Psychophysiology. 2002;**39**(3): 313-21. PMID: 12212650 DOI: 10.1017.S0048577201393095*
36. *Eoh HJ, Chung MK, Kim SH. Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. Int J Ind Ergon. 2005;**35**(4):307-20. DOI: 10.1016/j.ergon.2004.09.006*
37. *Davids K, Williams JG, Williams AM. Visual perception and action in sport. Abingdon: Routledge; 2005.*
38. *Williams AM. Perceptual skill in soccer: Implications for talent identification and development. J Sports Sci. 2000;**18**(9):737-50. PMID: 11043899 DOI: 10.1080/02640410050120113*
39. *Hagger MS, Chatzisarantis NL, Alberts H, Anggono CO, Batailler C, Birt AR, et al. A multilab preregistered replication of the ego-depletion effect. Perspect Psychol Sci. 2016; **11**(4):546-73. PMID: 27474142 DOI: 10.1177/1745691616652873*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-05]

[DOI: 10.29252/johe.5.4.41]