Iranian Journal of Ergonomics | ISSN: 2345-5365

Original Article

Application of Electroencephalography (EEG) in Ergonomics: A Systematic Review

Seyed Abolfazl Zakerian [1], Bahram Kouhnavard [2*]

1. Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2. Student's Scientific Research Center, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Article Info

Received: 2021/8/1
Accepted: 2022/1/4
ePublished: 2022/2/2

Use your device to scan and read the article online

Corresponding Author
Bahram Kouhnavard
Student's Scientific Research Center, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Email:
bahramk2011@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objectives: Electroencephalography is one of the non-invasive and relatively inexpensive methods that can be used to evaluate neurophysiology and cognitive functions. This systematic review study was performed with the aim of using electroencephalography (EEG) in ergonomics.

Methods: In this review study, all articles published in Persian and English on the application of electroencephalography (EEG) in ergonomics from March 20, 2010 to March 21, 2021 were reviewed. For this purpose, systematic search of articles was performed using the keywords cognitive ergonomics, mental fatigue, electroencephalography, EEG and brain waves in the databases of PubMed, Google Scholar, Web of science, SID, Scopus, Magiran Iran Medex.

Results: Most studies were conducted between 2015 and 2020 (41 paper) and most of the subjects were car drivers. Selected articles were reviewed in seven areas of mental fatigue, mental workload, mental effort, visual fatigue, working memory load, emotions, stress and error diagnosis. The journal Perceptual and Motor Skills, followed by Applied Ergonomics, published the largest number of related articles.

Conclusion: In the reviewed articles, the assessment of a person's mental states, especially when driving a vehicle, has been further studied and through it, tracking, monitoring and various tasks of working memory have been followed. Future research should focus on the use of computational methods that take into account the dynamic and unstable nature of EEG data. Such an approach could facilitate the development of fatigue detection systems and automated adaptive systems.

Keywords: Electroencephalography, Cognitive ergonomics, EEG, Systematic review, Brain waves, mental fatigue

Copyright © 2021, This is an original open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute of the material just in noncommercial usages with proper citation.

How to Cite This Article:

Zakerian S A, Kouhnavard B. Application of Electroencephalography (EEG) in Ergonomic: A Systematic Review. Iran J Ergon. 2021; 9 (3) :1-18

Extended Abstract

Background and Objectives

Electroencephalography is applicable for use in laboratory or field conditions compared to other brain imaging techniques such as FMRI[1] and PET[2] in terms of size and cost. The method has a high time resolution to measure the electrical activity of the brain, which makes it possible to measure cognitive studies and brain activity, optimally [13]. EEG recording is non-invasive and can be repeatedly used as a valuable tool for patients, normal adults, and children, without risk or limitation, in studies, especially in the field of cognitive ergonomics (mental fatigue, perception, memory, attention, language, emotions, and subjective workload) [14]. Therefore, this systematic review study aimed to investigate the application of electroence-phalography (EEG) in ergonomics.

Methods

In this review study, a review was conducted on the articles published in Persian and English on the application of electroencephalography (EEG) from 2010 to 2021. For this purpose, systematic searches of articles were performed using the keywords of cognitive ergonomics, electroencephalography, EEG, mental fatigue, brain waves, and their English equivalents in PubMed, Google Scholar, Web of science, SID, Scopus, Magiran, Iran Medex databases. The articles were 1094 studies, of which 68 articles were reviewed according to the inclusion criteria.

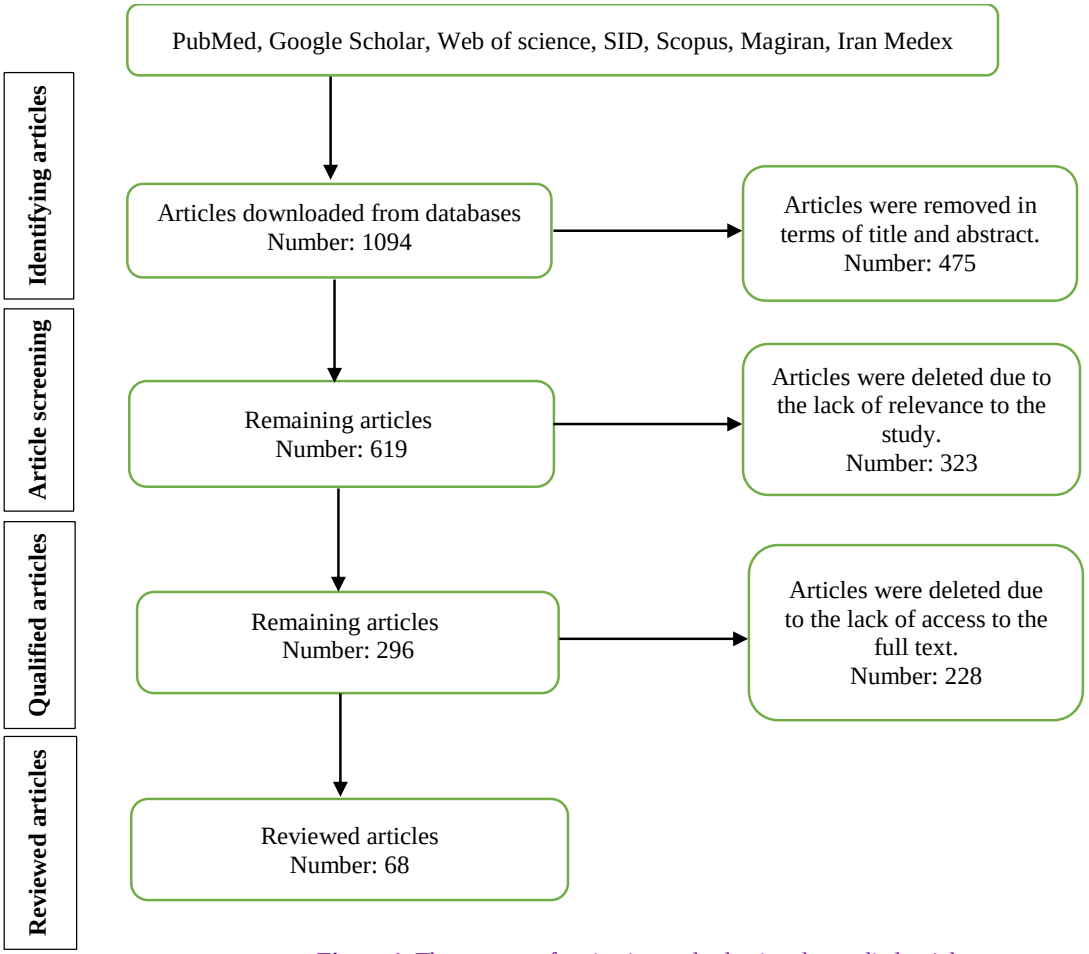


Figure 1. The process of reviewing and selecting the studied articles

1. Functional Magnetic Resonance Imaging
2. Positron emission tomography

Findings

Out of 1094 articles related to the subject, 68 articles were reviewed according to the inclusion criteria. Most of the studies were conducted between 2015 and 2021 (n=41) and most of the participants were car drivers (Table 1).

Table 1. Attributes of 68 analyzed articles

Attribute	Variable	Number
Publication year	2010-2014	27
	2015-2021	41
Type of participants	Operator	24
	Employee	17
	Student	20
	Train driver	7

The distribution of articles in different journals has been shown in Table 2. The journal of the Perceptual and Motor Skills, and Applied Ergonomics, published the largest number of articles on the application of electroencephalography in ergonomics.

Table 2. Number of published articles related to the field of application of electroencephalography in ergonomics

Journal	Number of articles	Journal	Number of articles
Perceptual and Motor Skills	17	Journal of Ergonomics	3
Journal of Psychology	5	Engineering Journal of Occupational Hygiene	1
Applied Ergonomics	12	Aviation, Space, and ,Environmental Medicine	3
Human Factors	9	Biological Psychology	11
Ergonomics			

The characteristics of the articles including the authors, subject of study, year of study, participants, and the important results have been shown in Table 3 .

Table 3. Some abstracts of articles reviewed in the field of application of electroencephalography in ergonomics

Row	Athour	Subject	Study date	Studied participants	Important results
1	Dehqi Fouladi *et al.* [17]	Evaluation of the relationship between occupational exposure to organic solvent and fatigue workers at a paint factory in Saveh city	2019-2020	Students	There was no significant relationship between EEG and students' visual analog scale. Alpha, beta, and theta waves can be good indicators for assessing mental fatigue. Mental fatigue can also be a factor that affects the accuracy and performance of people; so it reduces their attention and efficiency.
2	Lshgari and Arab [18]	Investigation of the relationship between noise annoyance and neurophysiological responses of drivers in exposure to tractor sound	2018-2019	Tractor operator	The results showed a decrease in alpha band amplitude and an increase in beta band amplitude due to an increase in engine speed. The results indicated a high correlation between alpha and beta bands and psychoacoustic annoyance. The detection coefficients of 0.966 and 0.989 were obtained for the two alpha and beta bands, respectively. Changes in the quality parameters of the sound produced and annoyance caused amplitude changes in both alpha and beta bands.

3	Mohammadi *et al.* [19]	Mental fatigue and its effect on the performance of the faculty of health staff using electroencephalographic signals	2018-2019	Employee	The results showed a decrease in the brain waves during the experiment, which indicates an increase in mental fatigue. Participants in this study reported fatigue by the KSS, which reduced their performance.
4	Gharagozlou *et al.* [20]	Investigating EEG alpha variations for mental fatigue detection on car driving simulator	2013-2014	Car drivers	This study showed that there was a significant difference between the rate of fatigue self-assessment in the first and last 10 minutes of the route. The average absolute power of alpha in the last 10 minutes increased significantly compared to the first 10 minutes of the route. Based on the results of brain waves and especially the absolute power of alpha can be a good indicator for early prediction of mental fatigue of a driver.
5	Shi Yuan Ho *et al.* [21]	Ergonomic design of an EEG headset using 3D anthropometry	2017	Air traffic control operators	Real-time evaluation of EEG-based human factors in an ATC system allows researchers to analyze changes in the brain state of the ATCOs during performing various ATC tasks. Based on the analysis of objective real-time data combined with the mental feedback of ATCOs, we are able to reliably evaluate current ATC systems and refine new concepts of future ATC systems.
6	Yufan Peng *et al.* [22]	Fatigue evaluation using multi-scale entropy of EEG in SSVEP-based BCI	2019	12 subjects	The main results show that the proposed fatigue index is completely related to the mental fatigue index and this can be used to diagnose alert and fatigue with 97% accuracy, which is better than the existing fatigue indicators based on different EEG spectra, such as theta, alpha, and beta. The proposed fatigue index provides a tool for measuring intelligent wearable BCI in real-world applications and an ergonomic evaluation method for other human-machine collaborations.
7	Monika Gergelyfi *et al.* [23]	Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity	2015	18 subjects	Reward-induced EEG, pupillometric, and skin conductance signal changes, regarded as indicators of task management, remain constant and fail to correlate with the indices of MF. MF did not affect a simple reaction time task, despite the strong influence of extrinsic motivation on this task. Finally, alterations of the motivational state through monetary incentives failed to compensate for the effects of MF.
8	Bin-Wei Hsu *et al.* [24]	Evaluating the effectiveness of using electroencephalogram power indices to measure visual fatigue	2013	20 males	Results indicated that the EEG power indices were valid as a visual fatigue measure and the sensitivity of the objective measures (CFF and EEG power index) was higher than the subjective measure. The EEG β and EEG α were effective for measuring visual fatigue in short- and long-duration tasks, respectively. EEG β/α were the most effective power indexes for the visual fatigue measure.

In this section, an analysis was conducted on the data set of 68 articles on the applications of EEG indicators in cognitive work. For this purpose, the selected articles were classified according to the following categories in performance measurement: 1) mental fatigue and alertness; 2) subjective workload; 3) mental effort; 4) visual fatigue; 5) working memory load; 6) emotions and stress; 7) error Detection.

1. The effect of mental fatigue and alertness

Assessment of mental fatigue based on neurological data is considered in neuroeconomics studies [29] to assess occupational health and safety. Mental fatigue occurs when a job requires a high level of attention and concentration [30]. For example, monitoring modern automation (such as monitoring pilot room, air traffic control, sea navigation, military surveillance, and industrial process control) systems significantly increases mental fatigue [31,32].

1.1. Mental fatigue caused by drowsiness

Drowsiness is a decrease in the level of cognitive attention with the desire to sleep [35]. The distinction between drowsiness and alertness was performed using linear and nonlinear EEG indices, of which PSD is the highest EEG index for assessing mental fatigue [36].

1.2. Mental fatigue caused by the transition phase

The transition phase is defined as the transition from waking to sleeping. PSD and the relative strength of the five frequency bands have been used to monitor the transition phase during cognitive tasks [43]. Decreased PSD for the alpha band was observed in drowsiness, while dominant beta activity was observed in the alert state [44]. Nguyen et al. [45] reported an increase in the relative power level in the low-frequency bands and a decrease in the relative power level in the high-frequency bands.

1.3. Mental fatigue caused by long periods of work

Fatigue is related to the time on a task (TOT) [46]. In general, human function declines, and mental fatigue begins through an increase in TOT. A significant increase in PSD of alpha, theta, and (alpha + theta) bands is observed in the posterior, internal, and frontal areas in fatigue during long periods [47,48]. Various studies have shown a decrease in the relative strength of theta, alpha, and beta rhythms by increasing levels of mental fatigue. Duty involvement is a positive and emotional state affected by workload, motivation, and emotions [52]. Assessing the deterioration of attention due to task involvement using EEG indicators has attracted the attention of many researchers. Observing the weakening of the P300 amplitude while performing the task is associated with mental fatigue [53, 54].

2. The effect of subjective workload

As a multidimensional structure, the subjective workload is generally defined in terms of the available resources to meet the demands of a task [55]. Not only excessively high workload reduces human performance, but also a very low workload reduces the operator's motivation and interest in working [56]. The difficulty of work attracts the most attention, and limited resources are available to process any other information. Traffic management studies aimed at increasing the brain's response to audible warning alarms and the design of alarm ring signals are associated with the study of this phenomenon [60].

3. The effect of mental effort

Mental effort is a neurological process that reflects the controlled cost of psychological information processing resources during perception, cognition, and action [65]. Sauseng et al. [66] observed a decrease in PSD of upper alpha activity during performing tasks that required a high level of mental effort.

4. The effect of visual fatigue

The eye muscles are one of the strongest muscles in the body. However, the eye muscles can sometimes get tired of activities such as sitting in front of a computer, TV or being exposed to fluorescent light for several hours. This condition is called visual fatigue. Difficulty concentrating, headache, eye pain, and blurred vision [67] are symptoms of visual fatigue that reduce performance at work.

5. the effect of working memory effect

Working memory is maintaining and manipulating information for a specified period. Several factors significantly affect human working memory, including cognitive load, task training, and aging [70]. PSDs of theta and alpha bands are very sensitive to increasing the working memory load. Jensen et al. [71] mainly focused gamma activity on attention and working memory during performing complex tasks.

Conclusion

This systematic review examines the applications of EEG indicators to quantify human cognitive function based on the analysis of selected articles between 2010 and 2021, which is the first study in Iran. Over the past 11 years, there has been an increasing trend for publication in this area. Assessment of a person's mental state is more studied, especially during driving, and tracking, monitoring and through it tracking, monitoring and various tasks of working memory are followed. Future research should focus on the use of computational methods taking into account the dynamic and unstable nature of EEG data.

مجله ارگونومی | سال ۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰ | E-ISSN: 2345-5365

مقالهٔ پژوهشی

کاربرد الکتروانسفالوگرافی (EEG) در ارگونومی: مطالعه مروری نظام‌مند

سید ابوالفضل ذاکریان[۱]، بهرام کوهنورد[۲*]

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
۲. مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰
پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴
انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

نویسندهٔ مسئول:
بهرام کوهنورد
مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
پست الکترونیک:
bahramk2011@gmail.com

برای دانلود این مقاله، کد زیر را با موبایل خود اسکن کنید.

کپی‌رایت © مجله ارگونومی؛ دسترسی آزاد؛ کپی برداری، توزیع و نشر برای استفاده غیرتجاری با ذکر منبع آزاد است.

خلاصه

زمینه و هدف: الکتروآنسفالوگرافی ازجمله روش‌های غیرتهاجمی و نسبتاً ارزان است که می‌تواند جهت ارزیابی نوروفیزیولوژی و عملکردهای شناختی مورداستفاده قرار گیرد. این مطالعه مروری سیستماتیک باهدف کاربرد الکتروانسفالوگرافی (EEG) در علم ارگونومی انجام شد.

روش‌کار: در این مطالعه مروری، کلیه مقالات چاپ‌شده به زبان فارسی و انگلیسی در زمینه کاربرد الکتروانسفالوگرافی در ارگونومی از بازه زمانی ۱ فروردین ۱۳۸۹ لغایت ۱ فروردین ۱۴۰۰ (march 2010 تا 20 march 2021) موردبررسی قرار گرفتند. برای این منظور جستجوی نظام‌مند مقالات با استفاده از کلمات کلیدی ارگونومی شناختی، خستگی ذهنی، الکتروانسفالوگرافی، EEG و امواج مغزی در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed, Google Scholar, Web of science, SID, Scopus, Magiran Iran Medex انجام گردید.

یافته‌ها: بیشتر مطالعات طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ صورت گرفته است (۴۱ مقاله) و اکثر افراد موردمطالعه نیز رانندگان خودرو بودند. مقالات انتخاب‌شده در هفت حیطه خستگی ذهنی، بارکاری ذهنی، تلاش ذهنی، خستگی بینایی، بار حافظه کاری، احساسات، استرس و تشخیص خطا موردبررسی قرار گرفتند. مجله Perceptual and Motor Skills و بعد از آن Applied Ergonomics بیشترین تعداد مقالات مربوطه را منتشر کرده بودند.

نتیجه گیری: در مطالعات بررسی‌شده ارزیابی حالات روانی فرد، به‌ویژه هنگام رانندگی با یک وسیله نقلیه، بیشتر موردمطالعه قرارگرفته است و از طریق آن کارهای ردیابی، نظارت و کارهای مختلف حافظه کاری دنبال شده است. تحقیقات آینده باید بر استفاده از روش‌های محاسباتی متمرکز باشد که ماهیت پویا و غیرثابت داده‌های EEG را در نظر می‌گیرند. چنین رویکردی می‌تواند توسعه سیستم‌های تشخیص خستگی و سیستم‌های تطبیقی خودکار را تسهیل کند.

کلیدواژه‌ها: الکتروانسفالوگرافی، ارگونومی شناختی، EEG، مروری سیستماتیک، امواج مغزی، خستگی ذهنی

زمینه و هدف

امروزه به‌منظور مطالعه فاکتورهای انسانی و ارگونومی جهت بررسی بارکار شناختی و اختصاصاً بارکاری ذهنی کارکنان در محیط‌های کاری از روش‌های اندازه‌گیری متغیرهای فیزیولوژیک رایج در حوزه بالینی و پزشکی استفاده می‌شود [۱]. تغییرات در طراحی ماهیت کاری (انجام کار با استفاده از نیروی عضلات به سمت فعالیت‌های ذهنی و نظارتی تبدیل‌شده است) از یکسو [۲] و رخداد حوادث در محیط‌های کاری به علت خطاهای انسانی ناشی از بارکار شناختی بالا از سوی دیگر ضرورت توجه به موضوعات شناختی را در مطالعات حال حاضر و آینده نشان می‌دهد. بدین منظور پارامترهایی همچون درک، حافظه، بارکاری شناختی، تصمیم‌گیری و زبان به‌عنوان مؤلفه‌های شناختی برای اپراتور در محیط‌های کاری مطرح می‌باشد که باهدف متناسب‌سازی کار و ایستگاه کاری با اپراتور، کاهش احتمال رخداد خطا و رفاه و آسایش توسط محققین این حوزه موردمطالعه قرار می‌گیرد [۳].

به‌منظور درک مستقیم حالات افراد در موقعیت‌های شغلی از روش‌های مختلفی همچون بررسی فعالیت الکتریکی عضلات

(EMG)[1]، فعالیت الکتریکی چشم (EOG)[2]، فعالیت الکتریکی قلب (ECG)[3]، فعالیت الکتریکی مغز (EEG)[4] و غیره استفاده می‌شود [۴]. این روش‌ها که بر اساس اندازه‌گیری سیگنال‌های بیولوژیکی پایه گذاری شده‌اند از سوی محققان برای تشخیص خستگی [۵]، خواب‌آلودگی [۶]، استرس [۷] و ... به کار گرفته شده‌اند. در میان روش‌های مختلف ثبت سیگنال‌های بیولوژیکی، روش EEG یکی از روش‌های پرکاربرد و قابل‌اعتماد به شمار می‌آید؛ زیرا در این روش، فعالیت مغز انسان به‌صورت غیرتهاجمی ارزیابی می‌شود. معمولاً هر نوار EEG به پنج باند فرکانسی تقسیم می‌شود که هر باند مربوط به فعالیت ویژه‌ای از مغز است [۸].

امواج EEG درواقع مجموع فعالیت‌های الکتریکی مغز را نشان می‌دهد که از طریق سطح استخوان جمجمه و با استفاده از الکترودهای سطحی و یا الکترودهای سوزنی ثبت و ضبط می‌شود [۹]. به‌طور طبیعی، مغز در حالت هوشیاری زمانی که قسمت‌های متفاوتی از مغز به‌طور مجزا فعال هستند فرکانس بالایی را در محدوده ۱۶ تا ۵۰ هرتز به‌صورت الگوهای نامنظم نشان می‌دهد [۱۰]. زمانی که حالت هوشیاری مغز کاهش می‌یابد نیز کاهش‌یافته و شدت آن تا فرکانس امواجEEG هنگامی‌که تعداد بیشتری از نورون‌ها به‌صورت متحد و به‌طور هم‌زمان در ناحیه تالاموس فعال شوند افزایش می‌یابد [۱۱]. غالباً افراد در حالت استراحت کامل و با چشم‌بسته و در وضعیت پاسخ به محرک‌های محیطی فعالیت امواج از نوع آلفا با محدوده فرکانسی ۸ تا ۱۲ هرتز را از خود نشان می‌دهند. با تمایل افراد به عدم پاسخ به سمت محرک‌های محیطی فرکانس امواج EEG محدوده امواج تتا (۴ تا ۸ هرتز) و بعداً تا محدوده امواج دلتا (صفرتا ۲ هرتز) یعنی حالت خواب کاهش پیدا می‌کند [۱۲].

تکنیک الکتروآنسفالوگرافی در مقایسه با دیگر تکنیک‌های تصویربرداری مغزی مانند FMRI[5] وPET[6] ازنظر اندازه و هزینه، استفاده در شرایط آزمایشگاهی یا میدانی مناسب می‌باشد. این روش همچنین در اندازه‌گیری فعالیت الکتریکی مغز از تفکیک زمانی بالا برخوردار است که اجازه می‌دهد مطالعات شناختی و فعالیت مغز را به نحو مطلوب ارزیابی نمود [۱۳]. ثبت EEG به‌طور کامل غیرتهاجمی است و می‌تواند بارها و بارها از بیماران، بزرگسالان نرمال و کودکان، بدون ریسک یا محدودیت در مطالعات بخصوص در حوزه ارگونومی شناختی (خستگی ذهنی، درک، حافظه، توجه، زبان، عواطف و بارکار شناختی) به‌عنوان یک ابزار ارزشمند مورداستفاده قرار گیرد [۱۴]. لذا مطالعه حاضر باهدف گستره کاربرد الکتروانسفالوگرافی (EEG) در ارگونومی به‌صورت یک مطالعه مروری نظام‌مند انجام گرفت [۱۵].

روش کار

در این مطالعه مروری، کلیه مقالات چاپ‌شده به زبان فارسی و انگلیسی درزمینه کاربرد الکتروانسفالوگرافی (EEG) در ارگونومی از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور جستجوی نظام‌مند مقالات با استفاده از کلمات کلیدی ارگونومی شناختی، الکتروانسفالوگرافی، EEG، خستگی ذهنی، امواج مغزی و معادل انگلیسی آن‌ها در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed, Google Scholar, Web of science, SID, Scopus, Magiran, Iran Medex انجام گردید. نتایج به‌دست‌آمده شامل ۱۰۹۴ مطالعه بود که در نهایت با توجه به معیارهای ورودی تعیین‌شده ۶۸ مقاله موردبررسی قرار گرفتند.

از معیارهای زیر برای غربالگری منابع شناسایی‌شده استفاده‌شد:

الف: انتخاب مقالات اصیل دارای متن کامل به زبان انگلیسی و فارسی

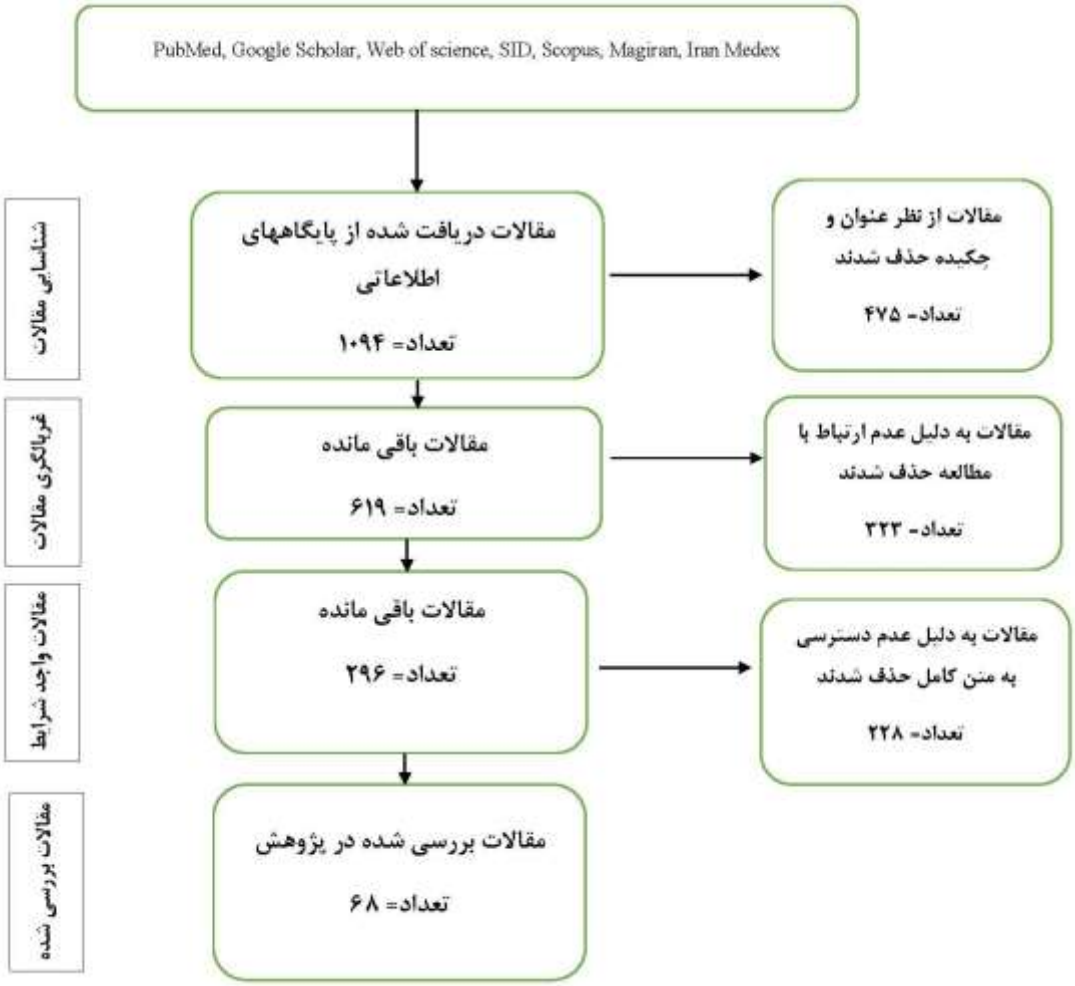
ب: حذف مقالات مروری، سرمقاله، نامه به سردبیر، مقالات ارائه‌شده در کنفرانس‌ها و گزارش‌ها

ج: بازه زمانی انتشار مقالات از ۱ فروردین ۱۳۸۹ لغایت ۱ فروردین ۱۴۰۰ (20 march 2010 تا 21 march 2021) (آخرین تاریخ جستجو)

در مقالات انتخاب شده قسمت‌های مختلف مقاله به‌ویژه موضوع مطالعه، روش پیاده‌سازی تکنیک، شاخص‌های پایش مورد استفاده و یافته‌ها به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفتند و اطلاعات لازم از آن‌ها استخراج گردید. این اطلاعات عبارت بودند از: عنوان مقاله، سال چاپ، نوع مجله، افراد مورد مطالعه و مهمترین نتایج. استخراج اولیه مقالات توسط یک دانشجوی دکتری تخصصی ارگونومی مورد بررسی و انتخاب نهایی مقالات زیر نظر استاد ارگونومی انجام پذیرفت. عنوان، چکیده و کلمات کلیدی تمامی مقالات به‌دست‌آمده در جستجوها، به‌دقت مطالعه شد و مقالات نامرتبط باهدف اصلی این مطالعه، از بررسی خارج شدند. متن کامل تمام مقالاتی که در جستجوی اولیه مرتبط دانسته شد جهت اطمینان کامل مورد مطالعه قرار گرفت.

[1] Electromyography
[2] Electrooculography
[3] Electrocardiogram
[4] Electroencephalography
[5] Functional Magnetic Resonance Imaging
[6] Positron emission tomography

در زمان جستجو بین گروه کلمات "AND" و "OR" گذاشته شد. این روش جستجو در تمام پایگاه‌های فوق استفاده شد. با استفاده از دستورالعمل بیانیه پریزما (PRISMA) حذف مقالات غیر مرتبط صورت گرفت و نهایتاً مقالات کاملاً مرتبط بامطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. پریزما یک راهنمای طراحی‌شده است که گزارش مرورهای ساختارمند و متاآنالیز را توسعه و بهبود می‌بخشد. ازاین‌رو، نویسندگان مقالات علمی از دستورالعمل‌های پریزما برای آماده‌سازی و انتشار یک مرور نظام‌مند کمک می‌گیرند [۱۶]. شکل ۱روند بررسی و انتخاب مقالات مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. روند بررسی و انتخاب مقالات موردمطالعه

یافته‌ها

از ۱۰۹۴ مقاله بازیابی شده مرتبط با موضوع، درنهایت ۶۸ مقاله با توجه به معیارهای ورودی در این مطالعه استفاده شد. اکثر مطالعات طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ صورت گرفته بود (۴۱ مقاله) و بیشتر مشارکت‌کنندگان نیز رانندگان خودرو بودند (جدول ۱).

جداول ۲ توزیع مقالات را در مجلات مختلف نشان می‌دهد.

مجله Perceptual and Motor Skills و بعد از آن Applied Ergonomics بیشترین تعداد مقالات را در رابطه با کاربرد الکتروآنسفالوگرافی در ارگونومی منتشر کرده بودند.

مشخصات مقالات به تفکیک نویسندگان، موضوع مطالعه، سال انجام مطالعه، افراد موردمطالعه و مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱- مشخصات ۶۸ مقاله تحلیل‌شده

مشخصه	متغیر	تعداد
سال چاپ	۲۰۱۰-۲۰۱۴	۲۷
	۲۰۱۵-۲۰۲۱	۴۱
نوع مشارکت‌کنندگان	راننده خودرو	۲۴
	کارمند	۱۷
	دانشجو	۲۰
	راننده قطار	۷

جدول ۲ - تعداد مقالات چاپ‌شده در رابطه با حوزه کاربرد الکتروآنسفالوگرافی در ارگونومی

تعداد مقالات	نام مجله	تعداد مقالات	نام مجله
۱۷	Perceptual and Motor Skills	۳	مجلهٔ ارگونومی
۵	The Journal of Psychology	۱	مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
۱۲	Applied Ergonomics	۳	Aviation, Space, and Environmental Medicine,
۹	Human Factors	۱۱	Biological Psychology
۷	Ergonomics		

جدول ۳- برخی از خلاصه مقالات بررسی‌شده در حوزه کاربرد الکتروآنسفالوگرافی در ارگونومی

ردیف	نویسنده	موضوع مطالعه	سال انجام مطالعه	افراد موردمطالعه	مهم‌ترین نتایج
۱	فولادی دهقی و همکاران [۱۷]	ارزیابی خستگی ذهنی با استفاده از ثبت سیگنال‌های مغزی: الکتروانسفالوگرافی	۱۳۹۸	دانشجویان	مطابق با نتایج ارتباط معنی‌داری بین EEG و مقیاس آنالوگ بصری دانشجویان دیده نشد. 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؛ به‌گونه‌ای که به کاهش توجه و بازدهی آن‌ها منجر شود.
۲	لشگری و عرب [۱۸]	بررسی ارتباط آزردگی صوتی و پاسخ‌های نرو فیزیولوژیک رانندگان در مواجهه با صدای تراکتور	۱۳۹۷	راننده تراکتور	نتایج حاکی از کاهش دامنهٔ باند آلفا و همچنین افزایش دامنهٔ باند بتا در اثر افزایش دور موتور بود. نتایج رگرسیون نیز نشان داد که همبستگی بالایی بین دو باند آلفا و بتا و آزردگی روان ـ آکوستیک وجود دارد؛ به‌طوری‌که ضریب تشخیص ۰.۹۶۶ و ۰.۹۸۹ به ترتیب برای دو باند آلفا و بتا به دست آمد . این بررسی نشان داد که تغییرات در پارامترهای کیفی صدای تولیدشده و درنتیجه میزان آزردگی ناشی از آن، باعث ایجاد تغییرات دامنه در هر دو باند آلفا و بتا شده است.
۳	محمدی و همکاران [۱۹]	بررسی خستگی ذهنی و تأثیر آن بر عملکرد کارکنان دانشکده بهداشت با استفاده از امواج الکتروانسفالوگرافی	۱۳۹۷	۱۰ کارمند	نتایج نشان دادند که امواج مغزی در طول آزمایش کاهش‌یافته‌اند که این امر نشان‌دهنده افزایش خستگی ذهنی می‌باشد. شرکت‌کنندگان در این مطالعه خستگی خود را توسط KSS گزارش نمودند که بر مبنای نتایج، عملکرد آن‌ها کاهشی بود.

۴	قره گوزلو و همکاران [۲۰]	بررسی تغییرات ریتم آلفا به‌منظور ردیابی خستگی ذهنی راننده درروی شبیه‌ساز رانندگی	۱۳۹۲	رانندگان سواری	این مطالعه نشان داد که بین میزان خودارزیابی خستگی در ۱۰ دقیقه ابتدایی و انتهایی مسیر اختلاف معنادار وجود داشت. میانگین توان مطلق آلفا در ۱۰ دقیقه انتهایی نسبت به ۱۰ دقیقه ابتدایی مسیر افزایش معنادار داشت. همچنین نتایج نشان داد که امواج مغزی و به‌ویژه توان مطلق آلفا می‌تواند شاخص خوبی برای پیش‌بینی زودهنگام خستگی ذهنی راننده باشد.
۵	شی یوان هو و همکاران [۲۱]	طراحی ارگونومیک هدست EEG با استفاده از آنتروپومتری سه بعدی	۲۰۱۷	اپراتورهای کنترل ترافیک هوایی	ارزیابی فاکتورهای انسانی مبتنی بر EEG در زمان واقعی یک سیستم ATC به محققان اجازه می‌دهد تا تغییرات وضعیت مغز ATCO ها را در هنگام انجام کارهای مختلف ATC تجزیه‌وتحلیل کنند. بر اساس تجزیه‌وتحلیل داده‌های زمان واقعی عینی همراه با بازخورد ذهنی ATCO ها، ما قادر به ارزیابی قابل‌اعتماد سیستم‌های ATC فعلی و اصلاح مفاهیم جدید سیستم ATC آینده هستیم.
۶	یوفان پنگ و همکاران [۲۲]	ارزیابی خستگی با استفاده از آنتروپی چند مقیاسی EEG در BCI مبتنی بر SSVEP	۲۰۱۹	۱۲ نفر	نتایج نشان می‌دهد که شاخص خستگی پیشنهادی کاملاً با شاخص خستگی ذهنی ارتباط دارد و این می‌تواند برای تشخیص حالت هشدار و خستگی با دقت ۹۷٪ مورداستفاده قرار گیرد که به‌وضوح بهتر از شاخص‌های خستگی موجود بر اساس طیف مختلف EEG، مانند تتا، آلفا و بتا است. شاخص خستگی پیشنهادی، ابزاری برای سنجش BCI پوشیدنی هوشمند در کاربردهای واقعی و یک روش ارزیابی ارگونومیک برای سایر همکاری‌های ماشین انسان فراهم می‌کند.
۷	مونیکا گرگلیف و همکاران [۲۳]	تفکیک بین خستگی ذهنی و حالت انگیزشی در طول فعالیت ذهنی طولانی مدت	۲۰۱۵	۱۸ نفر	EEG ناشی از پاداش، تغییرات سیگنال هدایت پوستی و پوپیلومتریک، به‌عنوان شاخص‌های درگیری وظیفه در نظر گرفته می‌شود، در طول آزمایش ثابت مانده و با شاخص‌های MF (خستگی ذهنی) ارتباط برقرار نمی‌کند. علاوه بر این، MF باوجود تأثیر شدید انگیزه خارجی در این کار، روی یک کار ساده زمان واکنش تأثیر نمی‌گذارد. سرانجام، تغییرات حالت انگیزشی از طریق مشوق‌های پولی در جبران اثرات MF ناکام ماند.
۸	بین شو و مائو جوین [۲۴]	ارزیابی اثربخشی استفاده از شاخص‌های قدرت الکتروانسفالوگرام برای اندازه گیری خستگی بینایی.	۲۰۱۳	۲۰ نفر مرد	نتایج نشان داد که شاخص‌های قدرت EEG به‌عنوان یک‌میزان خستگی بصری معتبر بوده و حساسیت اندازه‌گیری‌های هدف (CFF و شاخص قدرت EEG) بالاتر از اندازه‌گیری ذهنی بود. EEG بتا و EEG آلفا به ترتیب برای اندازه‌گیری خستگی بینایی در کارهای کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت مؤثر بودند. EEG بتا / آلفا مؤثرترین شاخص قدرت برای اندازه‌گیری خستگی بینایی بودند.
۹	بودی توماس چاپ و همکاران [۲۵]	مقایسه ترکیبات فعالیت EEG در رانندگان قطار در حین رانندگی یکنواخت	۲۰۱۱	۵۰ راننده قطار مرد	در محل فرونتال، فعالیت‌های تتا ($p = ۰/۰۴۵$) و آلفا ($۰/۰۰۰۱$) و در محل موقتی، اختلاف معنی‌داری برای فعالیت‌های دلتا ($p = ۰/۰۰۷$) و تتا ($۰/۰۱$) مشاهده شد. برای میانگین فعالیت‌های محل پیشانی و زمانی، اختلاف معنی‌داری برای دلتا ($p = 0.004$)، تتا ($p = 0.001$) و بتا ($p = 0.048$) مشاهده شد.
۱۰	اوپاسانا تالوکدار و همکاران [۲۶]	تصویرسازی حرکتی و خستگی ذهنی: روابط متقابل و تخمین مبتنی بر EEG	۲۰۱۹	۱۱ نفر	رشد خستگی با استفاده از الگوریتم Kernel Partial Least Square (KPLS) در ۶ شرکت‌کننده باقی‌مانده که نشان می‌دهد MI باعث خستگی ذهنی قابل‌توجهی می‌شود، کنترل شد. تجزیه‌وتحلیل آماری اثر خستگی بر عملکرد تصاویر حرکتی نشان می‌دهد که سطح خستگی بالا به‌طور قابل‌توجهی قابلیت جدا شدن EEG MI را کاهش می‌دهد.

۱۱	سیلوی و همکاران [۲۷]	شاخص EEG برای خستگی ذهنی اپراتورهای کنترل نظارت با استفاده از تعاملات بین نواحی مغز	۲۰۱۶	۲۵ نفر	شاخص مبتنی بر باند آلفا با شاخص چشمی که علائم خارجی خستگی ذهنی را اندازه‌گیری می‌کند و می‌تواند خستگی روانی را برای مدت طولانی ارزیابی کند، همبستگی دارد.
۱۲	پریر و همکاران [۲۸]	عملکرد رانندگی و نوسانات EEG در حین رانندگی در جاده به دنبال محرومیت از خواب	۲۰۱۶	۲۴ نفر زن و مرد	شاخص‌های SDLP و EEG (آلفا و طیف قدرت تتا) پس از کمبود خواب افزایش‌یافته و با ToT متفاوت بود. دومی بعد از کم‌خوابی بیشتر مشخص شد. طیف‌های قدرت بتا تفاوتی بین شرایط ندارند اما با ToT افزایش می‌یابد. تغییرات در SDLP و EEG ارتباط معنی‌داری نداشت. نتیجه گیری شد که عملکرد رانندگی و همچنین نوسانات خستگی و خواب با ToT پس از کمبود خواب در مقایسه با خواب طبیعی بیشتر بود.

بحث

در این بخش، مجموعه داده‌های اصلی ۶۸ مقاله راجع به کاربردهای شاخص‌های EEG در کار شناختی مورد تحلیل قرار گرفت. برای این کار، مقالات انتخاب‌شده بر اساس دسته‌بندی‌های زیر در اندازه‌گیری عملکرد طبقه‌بندی شدند: (۱) خستگی ذهنی و هوشیاری، (۲) بارکاری ذهنی، (۳) تلاش ذهنی، (۴) خستگی بینایی، (۵) بار حافظه کاری، (۶) احساسات و استرس و (۷) تشخیص خطا.

۱. تأثیر خستگی ذهنی و هوشیاری

ارزیابی خستگی ذهنی بر اساس داده‌های عصبی بسیار مورد توجه مطالعات نوروارگونومی [۲۹] برای ارزیابی سلامت و ایمنی شغلی است. خستگی ذهنی هنگامی اتفاق می‌افتد که در یک کار به سطح بالایی از توجه و تمرکز نیاز باشد [۳۰]. به‌عنوان مثال، نظارت بر سیستم‌های اتوماسیون مدرن (مانند نظارت بر اتاقک خلبان، کنترل ترافیک هوایی، ناوبری در دریا، نظارت نظامی و کنترل فرآیند صنعتی) به‌طور قابل‌توجهی خستگی ذهنی را افزایش می‌دهد [۳۲،۳۱]. خستگی ذهنی دلیل اصلی کمبود هوشیاری، خواب‌آلودگی، خستگی و از دست دادن انگیزه در طی کارهای شناختی است [۳۳]. بر این اساس، اصطلاحات خستگی ذهنی، کمبود هوشیاری و خواب‌آلودگی بسیار نزدیک هستند[۳۴]. در مطالعه حاضر، عوامل تحریک‌کننده خستگی ذهنی در چهار بخش طبقه‌بندی شدند: (۱) خواب‌آلودگی، (۲) مرحله گذار (یعنی گذار از حالت هشدار به خواب‌آلودگی)، (۳) زمان طولانی برای انجام یک کار و ۴) درگیری وظیفه.

۱.۱. خستگی ذهنی ناشی از خواب‌آلودگی

خواب‌آلودگی کاهش سطح توجه شناختی با میل به خواب است [۳۵]. تمایز بین حالت خواب‌آلودگی و هوشیاری با استفاده از شاخص‌های EEG خطی و غیرخطی انجام شده است که PSD بیشترین شاخص EEG برای ارزیابی خستگی ذهنی است [۳۶]. به نظر می‌رسد PSD فرکانس آلفا از لوب پس‌سری و PSD باندهای تتا از لوب فرونتال برجسته‌ترین شاخص‌ها در مطالعات خستگی ذهنی باشند [۳۸،۳۷]. چندین مقاله افزایش PSD باند تتا و آلفا را در طی کارهای خسته‌کننده گزارش کرده‌اند [۳۹،۳۸].

مطالعات دیگر داده‌های EEG را با استفاده از اقدامات پارامتری غیرخطی کمی تعیین کرده‌اند، زیرا سیگنال‌های EEG یک سری زمانی غیر ایستا، پویا و غیرخطی را نشان می‌دهند [۴۰]. به‌عنوان‌مثال، سطح بی‌نظمی در داده‌های سری زمانی را می‌توان با استخراج اندازه‌گیری‌های آنتروپی، ازجمله آنتروپی موجک (WE)، آنتروپی نمونه (SE)، آنتروپی طیف (SPEn)، آنتروپی نمونه اوج به اوج (PP-SampEn) اندازه‌گیری کرد [۴۲،۴۱].

۱.۲. خستگی ذهنی ناشی از مرحله گذار

مرحله گذار به‌عنوان گذار از بیدار بودن به خواب تعریف‌شده است. PSD و قدرت نسبی پنج باند فرکانسی برای نظارت بر مرحله گذار در طی کارهای شناختی استفاده شده است [۴۳]. کاهش PSD برای باند آلفا در حالت خواب‌آلودگی مشاهده شد، درحالی‌که فعالیت بتا غالب در حالت هشدار مشاهده شد [۴۴]. Nguyen و همکاران [۴۵] افزایش سطح نسبی توان در باندهای فرکانس پایین و کاهش سطح نسبی توان در باندهای فرکانس بالا را گزارش کردند.

۱.۳. خستگی ذهنی ناشی از مدت‌زمان طولانی صرف یک کار

حالت خستگی با مدت‌زمان صرف شده برای یک کار (TOT) مرتبط است [۴۶]. به‌طورکلی، با افزایش TOT، عملکرد انسان روبه‌زوال می‌رود و خستگی ذهنی شروع می‌شود. افزایش قابل‌توجهی در PSD باندهای آلفا، تتا و (آلفا + تتا) در نواحی پس‌سری، داخلی و فرونتال در خستگی طی دوره‌های طولانی

مشاهده می‌شود [۴۸،۴۷]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که با افزایش سطح خستگی ذهنی، توان نسبی ریتم‌های تتا، آلفا و بتا کاهش می‌یابد. دراین‌ارتباط Pires و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی خستگی ذهنی و تأثیر پرداختند. نتایج EEG آن بر عملکرد دوچرخه‌سواران نشان داد که با افزایش مدت‌زمان فعالیت، خستگی ذهنی افراد افزایش‌یافته و در نهایت موجب کاهش عملکرد آن‌ها شده است [۴۹]. در مطالعه Arnau و همکاران (۲۰۱۷) نیز که در آن به مقایسه خستگی ذهنی در میان کارگران مسن و جوان به‌وسیله EEG پرداخته شد، نتایج گویای آن بودند که با گذشت زمان امواج تتا، آلفا و بتا کاهش‌یافته است. شرکت‌کنندگان نیز به‌وسیله مقیاس خود گزارش‌دهی این خستگی را تأیید نمودند [۵۰]. از سوی دیگر، در مطالعه Trejo 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 کاهش‌یافته است. همچنین در مقدار توان موج آلفا و تتا نیز کاهش نشان داده شد [۵۱].

۱.۴. خستگی ذهنی ناشی از درگیری وظیفه

درگیری وظیفه یک حالت مثبت و هیجانی است که تحت تأثیر وضعیت بارکاری، انگیزه و احساسات قرار می‌گیرد [۵۲]. ارزیابی وخامت توجه ناشی از درگیری وظیفه با استفاده از شاخص‌های EEG توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. مشاهده اینکه دامنه P_{300} در حین انجام وظیفه تضعیف می‌شود، به وجود خستگی ذهنی مرتبط است [۵۴،۵۳].

۲. تأثیر بارکاری ذهنی

به‌عنوان یک سازه چندبعدی، بارکاری ذهنی به طور کلی ازنظر منابع موجود برای تأمین خواسته‌های یک کار تعریف‌شده است [۵۵]. نه‌تنها حجم کاری بیش‌ازحد بالا باعث کاهش عملکرد انسان می‌شود، بلکه حجم کاری بسیار کم انگیزه و علاقه اپراتور را برای کار کاهش می‌دهد [۵۶]. در سناریوهای پرکار، منابعی که به ادراک اختصاص داده می‌شوند، کاهش می‌یابد و درنتیجه باعث ناشنوایی هشدارهای شنیداری، بی‌توجهی به کلیه اطلاعات دریافتی، کند شدن روند تصمیم‌گیری و بدتر شدن هوشیاری می‌شود؛ بنابراین، برای حفظ یک محیط کار ایمن و مولد، یک بارکاری متوسط لازم است. در نظر گرفتن اطلاعات مغز انسان باید به ارزیابی دقیق و مداوم وضعیت روانی و تلاش اپراتور کمک کند [۵۷]. بسیاری از مطالعات تمرکز میان بارهای زیاد، متوسط و کم وظایف شناختی را با کمک شاخص‌های EEG بررسی کرده‌اند [۵۹،۵۸].

دشواری کار، بیشترین توجه را به خود جلب می‌کند و منابع محدودی برای پردازش هرگونه اطلاعات دیگر در دسترس است. مطالعات مدیریت ترافیک با هدف افزایش پاسخ مغز به آلارم‌های هشداردهنده شنیداری و طراحی سیگنال‌های زنگ هوشی با مطالعه این پدیده در ارتباط هستند [۶۰]. در طی کارهای پیچیده خلبانی، شاخص درگیری بالاتری در مناطق مرزی و جداری مشاهده‌شده است [۶۱]. Dehais و همکاران [۶۲] تعدادی از حالت‌های عصبی شناختی کمتر از حد بهینه را توصیف می‌کند که به‌طور قابل‌توجهی عملکرد انسان را کاهش می‌دهد، مانند پشتکار، کنار کشیدن تلاش، سرگردانی ذهن و نابینایی و ناشنوایی ناخواسته. در مطالعه دیگری Charbonnier و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی خستگی ذهنی در اپراتورهای کنترل پرداختند. نتایج حاکی از آن بود 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 [۶۳]. علاوه به راین، در مطالعه‌ای که Zhao و همکاران (۲۰۱۲) به‌منظور بررسی خستگی ذهنی در رانندگان انجام دادند، گزارش شد که موج تتا افزایش‌یافته است؛ اما موج بتا کاهش داشته است [۶۴]

۳. تأثیر تلاش ذهنی

تلاش ذهنی یک فرآیند عصبی شناختی است که منعکس‌کننده هزینه کنترل‌شده منابع پردازش اطلاعات روان‌شناختی در طول ادراک، شناخت و عمل است [۶۵]. Sauseng و همکاران [۶۶] کاهش PSD فعالیت آلفای فوقانی را هنگام انجام کارهایی که به سطح بالایی از تلاش ذهنی نیاز داشتند، مشاهده کرد.

۴. اثر خستگی بینایی

عضلات چشم جزو قوی‌ترین عضلات بدن هستند ولی با این وجود ممکن است با فعالیت‌هایی مثل چندین ساعت نشستن در مقابل کامپیوتر، تلویزیون یا مواجهه با نورهای فلورسنت گاهی دچار خستگی شوند. به این حالت خستگی بینایی (Visual fatigue) گفته می‌شود. مشکل در تمرکز، سردرد، چشم‌درد و تاری دید [۶۷] از علائم خستگی بینایی است که عملکرد در کار را کاهش می‌دهد. برخی از مطالعات بیان نموده‌اند هنگامی‌که 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 موردنیاز است. نتایج نشان داده‌اند که سطح هوشیاری افراد و سطح هیجانی مغز پس از اتمام کار به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. سازگاری، انگیزه و تفاوت بین فردی متغیرهای مهمی در بروز خستگی ذهنی هستند. همچنین، این احتمال وجود دارد که وقوع خستگی ذهنی از یک فردبه‌فرد دیگر متفاوت بوده و به مدت‌زمان و یا مشکل انجام وظیفه ذهنی مرتبط باشد؛ بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که تغییرات فیزیولوژیکی، روحی و رفتاری در تمامی افراد مشاهده شود [۶۸،۶۹].

۵. اثر حافظه کاری

حافظه کاری توانایی حفظ و دست‌کاری اطلاعات برای مدت‌زمان مشخصی است و چندین عامل به‌طور قابل‌توجهی بر حافظه کاری انسان تأثیر می‌گذارند که ازجمله می‌توان به بار شناختی، تمرین وظیفه و پیری اشاره نمود [۷۰]. PSD باند تتا و آلفا به افزایش بار حافظه فعال بسیار حساس است. Jensenو همکاران [۷۱] اهمیت فعالیت سریع نوسانی قشر مغز، عمدتاً فعالیت گاما را در توجه و حافظه فعال هنگام انجام کارهای پیچیده برجسته کرد.

۶. تأثیر عاطفه و فشار روانی

احساسات نقش مهمی در عملکرد کلی انسان دارند؛ زیرا به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد شناختی، تصمیم‌گیری و عملکرد فردی تأثیر می‌گذارند [۷۲]؛ از این رو، درک احساسات و عواطف انسانی در محل کار در تأمین محیط‌های کاری ایمن، به‌ویژه در کارهای پرخطر مانند دریانوردی و هواپیمایی ضروری است [۷۳]. استرس ناشی از فشار عاطفی است که در نتیجه، احساسات و استرس باهم رابطه تنگاتنگی دارند [۷۴،۷۵].

۷. اثر تشخیص خطا

شناسایی و تجزیه‌وتحلیل خطاهای انسانی برای افزایش عملکرد سیستم انسان و ماشین و جلوگیری از حوادث در محل کار بسیار مهم است. اجزای ERP، به‌طور عمده ERN، اطلاعات مفیدی را از سیگنال‌های مغزی مرتبط با انواع مختلف خطاها ارائه می‌دهند [۷۶]. منفی بودن در ERP هنگام انجام خطا و تشخیص خطاهای مرتکب شده توسط دیگران نشان داده می‌شود [۷۷]. کیم و همکاران [۷۸] PSD را مطالعه کرد تا خطر در نیروگاه‌های هسته‌ای را به حداقل برساند. قدرت مطلق آلفا هنگامی افزایش می‌یابد که شرکت‌کنندگان به‌درستی به سؤالات پاسخ می‌دهند و احساسات آرام‌تر و پایدارتری را نشان می‌دهند درصورتی‌که خطای انسانی وجود نداشته باشد. در مقابل، قدرت مطلق باند بتا، قدرت مطلق باند گاما، قدرت نسبی باند تتا و نسبت (θ / α) در صورت پاسخ‌های اشتباه به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد که این امر نشانگر وقوع استرس، خستگی و کاهش آرامش است. ارزیابی سیگنال‌های EEG در دوره‌های استرس و احساسات، خستگی دیداری و تلاش ذهنی کمتر موردتوجه قرار گرفته است. از نظر تکامل زمانی معیارهای عملکرد با استفاده از شاخص‌های EEG، خستگی ذهنی و بار ذهنی بیشترین توجه را در طول بازه زمانی از پیش تعیین‌شده به خود جلب کرده‌اند. شواهد نشان می‌دهد که PSD بیشترین شاخص EEG است که به دنبال آن دامنه و تأخیر برخی از اجزای ERP استفاده می‌شود. از جمله محدودیت عمده این مطالعه می‌توان به عدم دسترسی به اصل مقاله بعضی از مطالعات اشاره نمود که باعث شد برخی از مقالات حذف شوند و همچنین .

نتیجه‌گیری

این بررسی سیستماتیک کاربردهای شاخص‌های EEG را برای تعیین کمیت عملکرد شناختی انسان بر اساس تجزیه‌وتحلیل مقالات منتخب بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ بررسی کرده است و اولین مطالعه در ایران می‌باشد. طی ۱۱ سال گذشته روند افزایشی برای انتشار در این زمینه مشاهده شده است. بیشتر مطالعات از چگالی طیفی قدرت EEG به‌عنوان روش‌های خطی برای ارزیابی عملکرد شناختی انسان استفاده می‌کنند. پس از آن، FFT برای استخراج طیف قدرت استفاد ه‌شده است. یک محدودیت این است که انتخاب شاخص بهینه EEG همچنان نامشخص است. ارزیابی حالات روانی فرد، به‌ویژه هنگام رانندگی با یک وسیله نقلیه، بیشتر مورد مطالعه قرارگرفته است و از طریق آن ردیابی، نظارت و کارهای مختلف حافظه فعال دنبال شده است. تحقیقات آینده باید بر استفاده از روش‌های محاسباتی متمرکز باشد که ماهیت پویا و غیرثابت داده‌های EEG را در نظر می‌گیرند. چنین رویکردی می‌تواند توسعه سیستم‌های تشخیص خستگی و سیستم‌های تطبیقی خودکار را تسهیل کند. در پایان، برای غلبه بر محدودیت‌های فعلی ،توصیف و پیش‌بینی عملکرد انسان با استفاده از داده‌های EEG، باید از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شود.

تشکر و قدردانی

-

تعارض منافع

مطالعه حاضر هیچ‌گونه تضادی با منافع نویسندگان نداشته است.

References

1. Young MS, Brookhuis KA, Wickens CD, Hancock PA. State of science: mental workload in ergonomics. Ergonomics.2015;58(1):1-17. [DOI:10.1080/00140139.2014.956151] [PMID]
2. Reimer B, Mehler B. The impact of cognitive workload on physiological arousal in young adult drivers: a field study and simulation validation. Ergonomics.2011;54(10):932-42. [DOI:10.1080/00140139.2011.604431] [PMID]
3. Knaepen K, Marusic U, Crea S, Guerrero CDR, Vitiello N, Pattyn N, et al. Psychophysiological response to cognitive workload during symmetrical, asymmetrical and dual-task walking. Hum Mov Sci. 2015;40:248-63. [DOI:10.1016/j.humov.2015.01.001] [PMID]
4. Tran TQ, Boring RL, Dudenhoeffer DD, Hallbert BP, Keller MD, Anderson TM, editors. Advantages and disadvantages of physiological assessment for next generation control room design. Human Factors and Power Plants and HPRCT 13th Annual Meeting, 2007 IEEE 8th; 2007: IEEE. [DOI:10.1109/HFPP.2007.4413216] [PMID]
5. Makeig S, Inlow M. Lapses in alertness: coherence of fluctuations in performance and EEG spectrum. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1993; 86(1):23-35. [DOI:10.1016/0013-4694(93)90064-3] [PMID]
6. 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; 20(5):46-59.
7. 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;23(2):165-79. [DOI:10.1007/s10548-009-0127-0] [PMID]
8. Teplan M. Fundamentals of EEG measurement. Measur Sci Rev. 2002;2(2):1-11.
9. Bronzino JD. Principles of electroencephalography. The biomedical engineering handbook. 1995; 1(234-241).
10. Haas LF. Hans berger (1873–1941), Richard caton (1842–1926), and electroencephalography. J Neurol Neurosurg Psych. 2003;74(1):9-17. [DOI:10.1136/jnnp.74.1.9] [PMID]
11. 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.
12. Hsu BW, Wang MJ, Chen CY, Chen F. Effective indices for monitoring mental workload while performing multiple tasks. Perceptual and motor skills. 2015;121(1):94-117. [DOI:10.2466/22.PMS.121c12x5] [PMID]
13. Johnson A, (ed.), Proctor R, (ed.). Neuroergonomics: A cognitive neuroscience approach to human factors and ergonomics. Houndsmills: Palgrave MacMillan, 2013. P.248
14. Tatum IV WO. Handbook of EEG interpretation: Demos Medical Publishing; 2014. [DOI: Not found] [PMID]
15. D.P. Subha, P.K. Joseph, R.U. Acharya & C.M. Lim. 2008, EEG Signal Analysis: A Survey, Journal of Medical Systems, Springer. 2010;19(5):202-212. [DOI:10.1007/s10916-008-9231-z] [PMID]
16. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. BMJ. 2009; 33(9): 332-6. [DOI:10.1371/journal.pmed.1000097] [PMID]
17. Mohammadi A, fouladi dehaghi B, Nematpour L. Mental Fatigue and Its Effect on the Performance of the Faculty of Health Staff Using Electroencephalographic Signals. Johe. 2019;5(4):41-49. [DOI:10.22929/johe.5.4.41] [PMID]
18. Lashgari M, Arab M. Investigation of Relationship between Noise Annoyance and Neurophysiological Responses of Drivers in Exposure to Tractor Sound. Iran J Ergon. 2018;6(3):65-74. [DOI:10.30699/jergon.6.3.7] [PMID]
19. Mohammadi A, fouladi dehaghi B, Nematpour L. Mental Fatigue and Its Effect on the Performance of the Faculty of Health Staff Using Electroencephalographic Signals. johe. 2019; 5(4):41-49. [DOI:10.22929/johe.5.4.41] [PMID]
20. Gharagozlou F, Nasl Saraji J, Mazloumi A, Nahvi A, Motie Nasrabadi A, Rahimi Foroushani A, et al. Investigating EEG Alpha Variations for Mental Fatigue Detection on Car Driving Simulator. Iran J Ergon. 2013;1(1):5-13.
21. Lacko D, Vleugels J, Fransen E, Huysmans T, De Bruyne G, Van Hulle MM, Sijbers J, Verwulgen S. Ergonomic design of an EEG headset using 3D anthropometry. Appl Ergon. 2017;58(6):128-136. [DOI:10.1016/j.apergo.2016.06.002] [PMID]
22. Y. Peng et al. "Fatigue Evaluation Using Multi-Scale Entropy of EEG in SSVEP-Based BCI, in IEEE Access. [DOI:10.1109/ACCESS.2019.2932503] [PMID]
23. Gergelyfi M, Jacob B, Olivier E, Zénon A. Dissociation between mental fatigue and motivational state during prolonged mental activity. Front Behav Neurosci. 2015;13(9):170-176. [DOI:10.3389/fnbeh.2015.00176] [PMID]
24. Hsu BW, Wang MJ. Evaluating the effectiveness of using electroencephalogram power indices to measure visual fatigue. Percept Mot Skills. 2013;116(1):235-52. [DOI:10.2466/29.15.24.PMS.116.1.235-252] [PMID]

25. Jap, B.T. Lal, S. Fischer, P. Comparing combinations of EEG activity in train drivers during monotonous driving. Expert Syst. 2011;38(7):996–1003. [DOI:10.1016/j.eswa.2010.07.109] [PMID]

26. Talukdar U, Hazarika SM, Gan JQ. Motor imagery and mental fatigue: inter-relationship and EEG based estimation. J Comput Neurosci. 2019;46(1):55-76. [DOI:10.1007/s10827-018-0701-0] [PMID]

27. Charbonnier, S. Roy, R.N. Bonnet, S. Campagne, A. EEG index for control operators' mental fatigue monitoring using interactions between brain regions. Expert Syst. Appl. Int. J. 2016;52(4):91-98. [DOI:10.1016/j.eswa.2016.01.013] [PMID]

28. Perrier J, Jongen S, Vuurman E, Bocca ML, Ramaekers JG, Vermeeren A. Driving performance and EEG fluctuations during on-the-road driving following sleep deprivation. Biol Psychol. 2016;121(4):1-11. [DOI:10.1016/j.biopsycho.2016.09.010] [PMID]

29. Borghini G. Astolfi L. Vecchiato G. Mattia D. and Babiloni F. "Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness, Neurosci. Biobehav. 2014;44(6):58-75. [DOI:10.1016/j.neubiorev.2012.10.003] [PMID]

30. Charbonnier S. Roy R. N. Bonnet S. and Campagne A. "EEG index for control operators' mental fatigue monitoring using interactions between brain regions,". Expert Syst Appl. 2016;52(6):91-98. [DOI:10.1016/j.eswa.2016.01.013] [PMID]

31. Körber M. Cingel A. Zimmermann M. and Bengler K. "Vigilance decrement and passive fatigue caused by monotony in automated driving, in Procedia Manufacturing. 2015;3(9): 2403–2409. [DOI:10.1016/j.promfg.2015.07.499] [PMID]

32. Marcos I. Carmona A. and Kircher K. "Reduced Attention Allocation during Short Periods of Partially Automated Driving: An Event-Related Potentials Study," Front. Hum. Neurosci.2017;11(6):537-541. [DOI:10.3389/fnhum.2017.00537] [PMID]

33. Cao T. Wan F. Wong C. M. Da cruz J. N. and Hu Y. "Objective evaluation of fatigue by EEG spectral analysis in steady-state visual evoked potential-based brain-computer interfaces,". Biomed Eng. 2014;13(1):13-28. [DOI:10.1186/1475-925X-13-28] [PMID]

34. Tanaka M. Shigihara Y. Ishii A. Funakura M. Kanai E. and Watanabe Y. "Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study,". Behav Brain Funct. 2012;8(1):8-17. [DOI:10.1186/1744-9081-8-48] [PMID]

35. Roy R. Charbonnier S. Campagne A. and Bonnet S. "Efficient mental workload estimation using task using task-independent EEG features,". J Neural Eng. 2016;13(5):26-36. [DOI:10.1371/journal.pone.0242857] [PMID]

36. Caldwell J. A. Hall K. K. Erickson B. S. and Rucker F. "EEG Data Collected From Helicopter Pilots in Flight are Sufficiently Sensitive to Detect Increased Fatigue From Sleep Deprivation," Int. J. Aviat. Psychol. 2002;12(1):19-32. [DOI:10.1207/S15327108IJAP1201_3] [PMID]

37. Lin F. Ko L. Chuang C. Su T. and Lin C. "Generalized EEG-Based Drowsiness Prediction System by Using a Self-Organizing Neural Fuzzy System," IEEE Trans. Circuits Syst. 2012;59(9):2044–2055. [DOI:10.1109/TCSI.2012.2185290] [PMID]

38. Wascher E. et al. "Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue," Biol. Psychol. 2014;96(3):57–65. [DOI:10.1016/j.biopsycho.2013.11.010] [PMID]

39. Otmani S. Pebayle T. Roge J. and Muzet A. "Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers," Physiol. Behav. 2005;84(1):715-724. [DOI:10.1016/j.physbeh.2005.02.021] [PMID]

40. Gribkov D. and Gribkova V. "Learning dynamics from nonstationary time series: Analysis of electroencephalograms," Phys. Rev. EStat. Physics, Plasmas, Fluids, Relat. Interdiscip. 2000;61(6):6538-6545. [DOI:10.1103/PhysRevE.61.6538] [PMID]

41. Xiong Y. Gao J. Yang Y. Yu X. and Huang W. "Classifying Driving Fatigue Based on Combined Entropy Measure Using EEG Signals," Int. J. Control Autom. 2016;9(3):329-338. [DOI:10.14257/ijca.2016.9.3.3] [PMID]

42. Kar S. Bhagat M. and Routray A. "EEG signal analysis for the assessment and quantification of driver's fatigue," Traffic Psychol. Behav. 2010;13(5):297–306. [DOI:10.1016/j.trf.2010.06.006] [PMID]

43. Okena B. B.S. Salinskya M. C. and Elsas S. M. "Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement," Clin Neurophysiol. 2006;117(9):885-1901. [DOI:10.1016/j.clinph.2006.01.017] [PMID]

44. eo M. V. Li X. Shen K. and Wilder-Smith E. P. "Can SVM be used for automatic EEG detection of drowsiness during car driving?" Saf. Sci. 2009;47(1):115-124. [DOI:10.1016/j.ssci.2008.01.007] [PMID]

45. Nguyen T. Ahn S. Jang H. Jun S. C. and Kim J. G. "Utilization of a combined EEG / NIRS system to predict driver drowsiness," Sci. Rep.2017; 10(7):43-21. [DOI:No found] [PMID]

46. Dasari D. Shou G. and Ding L. "ICA-Derived EEG Correlates to Mental Fatigue, Effort, and Workload in a Realistically Simulated Air Traffic Control Task," Front. Neurosci. 2017;11(3):297- 308. [DOI:10.3389/fnins.2017.00297] [PMID]

47. Boksem M. A. S. Meijman T. F. and Lorist M. M. "Effects of mental fatigue on attention: An ERP study," Cogn. Brain Res. 2005;51(25):107-116. [DOI:10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011] [PMID]

48. hao C. Zhao M. Liu J. and Zheng C. "Electroencephalogram and electrocardiograph assessment of mental fatigue in a driving simulator," Accid. Anal. Prev. 2012;45(3):83-90. [DOI:10.1016/j.aap.2011.11.019] [PMID]

49. 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(1):227-229.

[DOI:10.3389/fphys.2018.00227] [PMID]

50. Arnau S, Möckel T, Rinkenauer G, Wascher E. The interconnection of mental fatigue and aging: an EEG study. Int J Psychophysiol. 2017;11(7):17-25. [DOI:10.1016/j.ijpsycho.2017.04.003] [PMID]

51. 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] [PMID]

52. Chanel G. Rebetez C. Bétrancourt M. and Pun T. "Emotion Assessment From Physiological Signals for Adaptation of Game Difficulty, IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.—Part A Syst. Humans. 2011:41(6):111. [DOI:10.1109/TSMCA.2011.2116000] [PMID]

53. Hopstaken J. F. Van Der Linden D. Bakker A. B. and Kompier M. A. J. "A multifaceted investigation of the link between mental fatigue and task disengagement, Psychophysiology. 2015;52(1):305-315. [DOI:10.1111/psyp.12339] [PMID]

54. Marcos I. Carmona A. and Kircher K. "Reduced Attention Allocation during Short Periods of Partially Automated Driving: An Event-Related Potentials Study," Front. Hum. Neurosci. 2017;11(4):537-544. [DOI:10.3389/fnhum.2017.00537] [PMID]

55. Young M. S. and Stanton N. A. "Mental workload In: Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods, Stanton N. A. Hedge A. Brookhuis K. Salas E. and Hendrick H. W. Eds. London: Taylor & Francis. 2005.

56. Ryu K. and Rohae M. "Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic," Int. J. Ind. Ergon. 2005;35(2):991-1009. [DOI:10.1016/j.ergon.2005.04.005] [PMID]

57. Baldwin C. L. "Commentary," Theor. Issuesin Ergon. SCI. 2003;4(2):132–141.

[DOI:10.1080/14639220210159807] [PMID]

58. Murata A. "An Attempt to Evaluate Mental Workload Using Wavelet Transform of EEG," Hum. Factors.2005;47(3):498–508. [DOI:10.1518/001872005774860096] [PMID]

59. Mathan S. Feyereisen T. and Whitlow S. "WorkSense: Exploring the Feasibility of Human Factors Assessment using Electrophysiological Sensors, in Proceedings of ICACS. 2007.

60. Giraudet L. Imbert J. Bérenger M. Tremblay S. and Causse M. "The Neuroergonomic Evaluation of Human Machine Interface Design in Air Traffic Control using behavioral and EEG / ERP measures," Behav. Brain Res. 2015;294(3):246–253. [DOI:10.1016/j.bbr.2016.01.003] [PMID]

61. L. Giraudet, M. E. Saint-Louis, and M. Causse, "Electrophysiological correlates of inattentional deafness: no hearing without listening, in HFES Europe Chapter Conference. 2012.

62. Dehais F. Lafont A. Roy R. and Fairclough S. "A Neuroergonomics Approach to Mental Workload, Engagement and Human Performance," Front. Neurosci. 2020;14(1): 1-17. [DOI:10.3389/fnins.2020.00268] [PMID]

63. 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(2):91-98. [DOI:10.1016/j.eswa.2016.01.013] [PMID]

64. Zhao C, Zhao M, Liu J, Zheng C. Electroencephalogram and electrocardiograph assessment of mental fatigue in a driving simulator. Accid Anal Prev. 2012;45(11):83-90. [DOI:10.1016/j.aap.2011.11.019] [PMID]

65. Hockey G. Nickel P. Roberts A. and Roberts M. "Sensitivity of candidate markers of psychophysiological strain to cyclical changes in manual control load during simulated process control, Appl. Ergon. 2009;40(6):1011–1018. [DOI:10.1016/j.apergo.2009.04.008] [PMID]

66. Sauseng P. Klimesch W. Schabus M. and Doppelmayr M. "Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory, Int. J. Psychophysiol. 2005; 57(4): 97–103. [DOI:10.1016/j.ijpsycho.2005.03.018] [PMID]

67. Wiyor H. D. Ntuen C. A. Stephens J. D. and Jiang Z. "Classifying visual fatigue severity based on neurophysiological signals and psychophysiological ratings, Int. J. Hum. Factors Ergon. 2013;2(1) no. 1, pp. 11–32, 2013. [DOI:10.1504/IJHFE.2013.055982] [PMID]

68. Huang R. Jung T. Delorme A. and Makeig S. "Tonic and phasic electroencephalographic dynamics during continuous compensatory tracking. Neuroimage. 2008;39(4):1896-1909. [DOI:10.1016/j.neuroimage.2007.10.036] [PMID]

69. Campagne A. "Correlation between driving errors and vigilance level: influence of the driver's age, Physiol. Behav. 2004;80(4):515-524.

[DOI:10.1016/j.physbeh.2003.10.004] [PMID]

70. Gazzaley A. "Influence of early attentional modulation on working memory. Neuropsychologia. 2011;49(6).1410–1424, 2011.

[DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.022] [PMID]

71. Jensen O. Kaiser J. and Lachaux J. "Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory, Trends Neurosci.2007;30(7):317-324. [DOI:10.1016/j.tins.2007.05.001] [PMID]

72. Alarcao S. M. and Fonseca M. J. "Emotions Recognition Using EEG Signals: A Survey, IEEE Trans. Affect. Comput. 2017;10(3):374-393. [DOI:10.1109/TAFFC.2017.2714671] [PMID]

73. Causse M. Dehais F. Péran P. Sabatini U. and Pastor J. "The effects of emotion on pilot decision-making: A

neuroergonomic approach to aviation safety, Transp. Res. 2013;33(2):272-281.

[DOI:10.1016/j.trc.2012.04.005] [PMID]

74. Sulaiman N. Hayatee N. Hamid A. Murat Z. and Taib M. "Initial Investigation of Human Physical Stress Level using Brainwaves, IEEE Student Conf. Res. 2009;22(5):230–233. [DOI:10.1109/SCORED.2009.5443088] [PMID]

75. O. Sourina et al. "Neuroscience Based Design: Fundamentals and Applications, in In 2016 International Conference on Cyberworlds. 2016. 250–257. [DOI:10.1109/CW.2016.52] [PMID]

76. Fedota J. and Parasuraman R. "Neuroergonomics and human error, Theor. Issues Ergon. Sci. vol. 11, no. 5, pp. 402–421, 2010. [DOI:10.1080/14639220902853104] [PMID]

77. Miltner W. H. Brauer J. Hecht H. Trippe R. and Coles M. G."Parallel brain activity for self-generated and observed errors», Errors, conflicts, brain Curr. Opin. Perform. Monit. 2004. 124–129.

78. J. Kim, Y.A. Suh, and M. Yim, "An Investigation of Human Error Identi fication Based on Bio-monitoring System (EEG and ECG Analysis), in In International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. 2018.145–151. [DOI:10.1007/978-3-319-94866-9_14] [PMID]