Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2020 (27 Dec);17: 70.

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

The Effect of Explosion on EEG Signals of Blasting Employees

Mahdi Bamdad, (*Corresponding author), Assistant Professor, Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. bamdad@shahroodut.ac.ir

Behzad Tokhmechi, Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Center of Excellency in Mining Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Reza Fazel-Rezai, Associate Professor, Department of Electrical Engineering, University of North Dakota, USA.

Chiako Mokri, Master student, Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Abstract

Background and aims: Occupational noise is one of the most important causes of occupational accidents and general human error. In addition to being one of the leading causes of hearing loss and tinnitus, it is one of the most effective extrinsic factors affecting brain processing mechanisms. The human response to sound and wave explosions and changes in air pressure is a major concern in the mining. Explosive is used to break the rock and this process is referred to as an integral part of the mining process. However, this cheap method of rock breakage has inherent disadvantages and that too concerning the environment and human safety. Blasting in opencast mines is characterized by the use of large masses of explosives for a single blast. Blasting workers likewise inhabitants in a war zone are continuously exposed to explosions. It is, however, difficult to gauge the effectiveness of certain phenomenon. Physiological response to blast which is particularly transient was evaluated considering ears as the most vulnerable organs. From the survey, it is concluded that ear responses are dependent not only on the pressure but also on impulse and body orientation. It is a fact that the nature and duration of normally generated vibrations are different from that generated by a blast. Moreover, mining blasts are accompanied by higher levels of noise. Under such circumstances, whether vibration standards should be generally applied to blasting in mines is doubtful especially when the mild traumatic is observed in some cases. Almost all studies investigating the effect of the explosion on soldiers' brain confirmed that soldiers suffer from brain injury resulted in an explosion and sound waves. They give a detailed account of community response to military explosions but there are very few studies relating to this issue which are existing on a direct effect on physiology in general and the brain in particular due to the mining explosion and air-overpressure. The idea of the study is to ascertain any changes in the human brain due to the immediate response in and around mines. This data would be used to predict the effect of the direct impetus on human physiology and the response thereof. In the present study, the brain responses of blasting workers personnel and individuals exposed to explosive noise were investigated.

Methods: There are some constraints for the tests. (1) Sound conditions can be kept constant only in the test, as there is a significant variation in different parameters involved in the real environment. (2) There is just one EEG device available for recording responses of one person at one time. (3) It is difficult to carry and operate the equipment at places where the actual one is taking place.

Keywords

Consciousness Level

Electroencephalography (EEG) signals

Explosion Sound

Reaction Time

Signal Gradient

Received: 2019-05-7

Accepted: 2020-03-16

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

The experiment presented in this paper compared the intensity of participants' brain responses to acoustic stimuli, an intense burst typically used in the literature. This sound is similar characteristics in terms of duration and intensity that is produced in the real-world by explosions. Due to the complexity of the signal processing and signal processing, this study is an interventional study conducted on five university staff, as a representative of a community that has never been exposed to blast waves and five blasting workers working in different mines. The electroencephalogram (EEG) has great potential for continuous and quantitative human state measurement. EEG is the recording of the electrical signal along the scalp produced by the action of neurons within the brain, which can be measured using electrodes attached to the scalp. The activation of a central nervous system is thus manifested in the EEG signal. Keeping in view the limited available resources and complex analysis of EEG signals, tests are not at a large scale designed to generate data bank. All participants in the experiment ranged in age from 32 to 42 years (mean: 37 years, STD: 1.5 years) and had general physical health. This study was approved by the Institutional Board Review (IRB) of the Shahrood University of Technology, corrective exercise, and rehabilitation laboratory (CRL) according to the approved protocol. Acoustic characteristics and effects of tinnitus were asked through history taking and a brief cognitive status examination was performed for all subjects. For this purpose, brain waves recorded as brain signals (EEGs) were used. Routine EEG signals recorded for 30 s. The EEG signal capture cap was eight-channel, and the channels were positioned so that different subjects' senses, including motor, speech, auditory, visual, and involuntary, were examined. Eight electrodes were selected from Fp1, Fp2, C3, C4, T3, T4, O1, O2 placement on the scalp. A1 and A2 (ear or mastoid electrodes), which are reference and ground electrodes were also connected. The experiment was designed so that the signals were recorded when the explosion sound was broadcasted suddenly without pre-awareness.

Wavelet decompositions were used to investigate how different brain lobes response to explosion sound and to demonstrate differences among responses in different groups of subjects, i.e. surface blasting workers, staff, and miners. A wavelet is a mathematical function used to divide a given function or continuous-time signal into different scale components. Usually one can assign a frequency range to each scale component. Each scale component can then be studied with a resolution that matches its scale. It should be mentioned that in each level of wavelet decomposition, signal divides into two sections: low-frequency band or approximation, and high-frequency band or details; each contains a half frequency band of the signal.

Results: Different frequency bands of EEG signals are representative of the cognized brain's behavior. The investigation included an application of time–frequency based method for measuring electroencephalogram (EEG) phase synchronization. The sampling frequency was set to 500 Hz by the hardware although it is higher than what is needed in this project.

EEG signals can be highly contaminated by both extrinsic and intrinsic artifacts that obscure the signal of interest. Extrinsic artifacts are the noises generated mostly from an external source rather than human body physiology such as movement artifacts, environmental noise, and electrical wiring noise in the EEG sensor. To address these issues, the authors successfully tested signal processing framework to acquire high quality EEG signals. After recording the brain signal and the time of the voice transmission in the experiments, the study showed that two superior properties of the signals had to be extracted.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

For each subject and each electrode, one feature was gathered. Mentioned features gathered for tests that explosion sound played. It should be mentioned that in some cases feature extraction was impossible because there was not any detectable variability associated with Delta band of the signal, during explosion sound playing. Based on this study, it was hypothesized that alterations in the spectral power of the EEG during the presentation of auditory stimuli compared to the rest conditions would differ between individuals with and without experience in blasting works. power values in theta, alpha, and beta frequency bands were analyzed and tested possible differences between groups in each of the three frequency bands. In all other experiments, reaction duration times of blasting workers and staff were the same. The gradient and timing of the signal variability were monitored following the sound transmission. The reactions of university personnel and blasting workers in some channels of signal reception are similar and in others quite different. In some other channels and senses, the response of non-worker to the sound of the explosion was that the signal level decreased and their motor and auditory consciousness levels decreased, although this was vice versa for blasting workers personnel.

Conclusion: How job habits influence humans' behavior? This is a regular question that has investigated frequently. The goal of this paper was to study the behavior of blasting workers, emphasizing their brain signals. Staff were representative of common humanity, do not associated with the explosive issues. Using this algorithm, abnormal features of brain electrical activity were detected. In some cases, workers' EEG signal levels increase, unlike normal people, after hearing the sound of explosions, indicating increased levels of motor, speech, and visual awareness. However, from the perspective of auditory and involuntary senses, no significant difference was observed between two groups.

In some cases, there is no effect on the functioning of the brain and physiological response is not observed within the limited range of observations. As a result, no matter they know what will happen, they have gone to be panic when they heard explosion sound. In terms of reaction time to the sound of the explosion. In many cases, there was no significant difference between them, except in the motor and speech senses that the response of ordinary people was far faster than the workers. The validity of the EEG-based measurement was examined through a comparison with levels obtained from workers' samples, which has been accepted as a reliable physical measure of reactions. The results demonstrate the applicability of an EEG signal on measuring workers' reactions. Particularly in the future works remain crucial to understanding workers' states. This study can contribute to the knowledge of an in-depth understanding of reactions in the mining field. It shall provide a tool to continuously measure workers' performance while they are working with explosive material in the mining.

Conflicts of interest: None

Funding: None

How to cite this article:
Mahdi Bamdad, Behzad Tokhmechi, Reza Fazel-Rezai, Chiako Mokri. The Effect of Explosion on EEG Signals of Blasting Employees. Iran Occupational Health. 2020 (27 Dec);17:70.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ - ۱۳۹۹/۷۰
مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

بررسی اثر انفجارات بر سیگنال های مغزی آتشکاران

مهدی بامداد: (* نویسنده مسئول) استادیار، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و مکاترونیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. bamdad@shahroodut.ac.ir
بهزاد تخم چی: دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، قطب مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
رضا فاضل رضایی: دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی برق، دانشگاه داکوتای شمالی، آمریکا.
چیاکو مکری: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و مکاترونیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: از مهم‌ترین عوامل بروز حوادث شغلی و به‌طور کل خطای انسانی، صدای محل کار است. علاوه بر اینکه از علل عمدهٔ ایجاد کم‌شنوایی و وزوز گوش است، از مـؤثرترین عوامـل برون‌زاد تأثیرگـذار بـر مکانیزم‌های پردازشی مغز نیز محسوب می‌شود. پاسخ انسان به صدا و موج انفجار و تغییر فشار هوا نگرانی عمدهٔ فعالیت در معدن است. مواد منفجره برای شکستن سنگ استفاده می‌شود و از این کار به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از فرایند استخراج معادن یاد می‌شود. این روش ارزان شکستن سنگ دارای معایب ذاتی و همراه با نگرانی‌های جدی درمورد محیط زیست و ایمنی پرسنل است. انفجار در معادن با استفاده از انبوه مواد منفجره بسیار پرخطر است. کارگران آتشکار به‌مانند افراد درگیر در منطقهٔ جنگی به‌طور مداوم در معرض انفجارها قرار دارند. سنجیدن اثربخشی این شرایط و یک رویداد خاص دشوار است. پاسخ فیزیولوژیکی به انفجار که کاملاً در زمان گذراست، با گوش به‌عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین اعضای بدن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از بررسی‌های گذشته نتیجه گرفته می‌شود که پاسخ‌های شنیداری نه‌تنها به فشار هوا، بلکه به ضربه و جهت بدن نیز کاملاً بستگی دارد. واقعیت آن است که ماهیت و مدت زمان ارتعاشات تولیدشدهٔ عادی با آنچه که توسط انفجار ایجاد می‌شود، متفاوت است. علاوه‌بر این، انفجار معدن با پارامترهای اختلالی بیشتری همراه است. تحت چنین شرایطی، اینکه آیا استانداردهای ارتعاش باید به‌طور کلی برای انفجار در معادن استفاده شود، به‌ویژه هنگامی که در بعضی موارد آسیب‌های مغزی خفیف مشاهده می‌شود، جای تردید دارد. به‌طور مشابه تقریباً تمام مطالعاتی که درمورد تأثیر انفجار بر مغز سربازان انجام شده، تأیید کردند که سربازان از آسیب مغزی رنج می‌برند که ناشی از انفجار و امواج صوتی است. آن‌ها از پاسخ جامعه به انفجارهای نظامی شرح مفصّلی می‌دهند؛ اما مطالعات بسیار کمی دربارهٔ این موضوع وجود دارد که اثرات مستقیم فیزیولوژی به‌طور کلی و مغز به‌ویژه به‌دلیل انفجار معدن و تغییرات فشار هوا را دربربگیرد. ایدهٔ این مطالعه تعیین هرگونه تغییر در مغز انسان به‌دلیل پاسخ فوری مغز به این فعالیت در معادن و اطراف آن است. این داده‌ها برای پیش‌بینی تأثیر محرک مستقیم بر فیزیولوژی انسان و پاسخ وابسته به آن می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. در مطالعهٔ حاضر، واکنش مغزی پرسنل آتشکار و افراد عادی هنگام مواجهه با صوت انفجار مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: محدودیت‌هایی برای تست وجود دارد: ۱. شرایط صدا را فقط در آزمون می‌توان ثابت نگه داشت؛ زیرا تغییرات قابل توجهی در پارامترهای مختلف درگیر در محیط واقعی وجود دارد. ۲. فقط یک دستگاه EEG برای ضبط پاسخ‌های یک نفر در زمان مشخص وجود دارد. ۳. حمل و استفاده از تجهیزات تست در مکان‌های واقعی دشوار است. آزمایشی که در این مقاله ارائه داده شده، شدت پاسخ‌های مغز شرکت‌کنندگان را با محرک صدایی انفجار شدید بررسی می کند. صدایی با خصوصیات مشابه انفجارها در دنیای واقعی تولید شده است. این سیگنال اکوستیکی از نظر مدت و شدت منطبق بر رویهٔ معمول در ادبیات موضوع استفاده می‌شود. این تحقیق یک پژوهش مداخله‌ای است که به‌دلیل پیچیده بودن فرایند برداشت و پردازش سیگنال، بر روی ۵ نفر پرسنل دانشگاه به‌عنوان نمایندهٔ جامعه ای که هیچ‌گاه در معرض امواج انفجار نبوده اند و ۵ نفر آتشکار شاغل در معادن مختلف انجام شد. الکترونسفالوگرام (EEG) پتانسیل بسیار خوبی برای اندازه‌گیری کمّی حالات انسانی دارد. EEG ضبط سیگنال الکتریکی از پوست سر است که با عمل نورون‌ها در مغز ایجاد می‌شود. این کار می‌تواند با استفاده از الکترودهای در اتصال به پوست سر انجام گردد. درنتیجه فعال شدن سیستم عصبی مرکزی با سیگنال EEG دریافت می‌شود و تجلی پیدا می‌کند. با درنظر گرفتن منابع انسانی و تجربی در دسترس و تجزیه و تحلیل پیچیدهٔ این سیگنال ها، آزمایش‌ها در مقیاس وسیعی نیستند که برای تولید بانک داده طراحی شده باشند. کل مشارکت‌کنندگان در آزمایش در بازهٔ سنی ۳۲ تا ۴۲ (میانگین ۳۷ سال و انحراف معیار ۱.۵ سال) قرار داشتند و از سلامت عمومی جسمانی برخوردار بودند. این مطالعه توسط کمیتهٔ علمی آزمایشگاه تحقیقاتی تمرینات اصلاحی و توان‌بخشی دانشگاه صنعتی شاهرود مطابق پروتکل مصوب تأیید شده است. ویژگی‌های آکوستیکی و تأثیرات وزوز گوش از طریق تاریخچه‌گیری پرسیده شد و آزمون معاینهٔ مختصر وضعیت شناختی برای تمام افراد انجام شد. برای این منظور از امواج مغز که به‌صورت سیگنال های مغزی (EEG) ثبت شده‌اند، بهره گرفته شد. کلاهک برداشت سیگنال های EEG هشت‌کانالی بوده و کانال ها به‌نحوی جای‌گذاری شدند که حواس مختلف اشخاص شامل حواس حرکتی، گفتاری، شنیداری، بینایی و غیرارادی مورد بررسی قرار گیرند. هشت الکترود در محل قرارگیری O1 ، T4 ، T3 ، C4 ، C3 ، Fp2 ، Fp1 و O2 روی پوست سر انتخاب شد. A1 و A2 الکترودهای گوش به‌عنوان مرجع هستند و الکترودهای مرتبط با زمین نیز وصل شدند. آزمایش به این ترتیب طراحی شد که سیگنال ها در حالتی ثبت شدند که ناگهان و بدون اطلاع قبلی، صوت انفجار پخش می شد. از تجزیهٔ موجک برای بررسی نحوهٔ متفاوت مغز استفاده شده است. پاسخ لوبها به صدای انفجار و نشان دادن تفاوت بین پاسخ‌ها در گروه‌های مختلف افراد، یعنی کارکنان (دانشگاه) و کارگران معدن بنا به سطح انفجار بسیار راهگشاست. موجک یک تابع ریاضی است که

کلیدواژه‌ها
سطح هشیاری
سیگنال مغزی EEG
صوت انفجار
زمان واکنش
گرادیان سیگنال

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۶

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

برای تقسیم سیگنال زمان پیوسته به اجزای مقیاس مختلف استفاده می‌شود. معمولاً می‌توان محدودهٔ فرکانس را به مؤلفهٔ مقیاس اختصاص داد. سپس هر مؤلفه را می‌توان با وضوح مطابق با مقیاس آن مورد مطالعه قرار داد. در اینجا در هر سطح از تجزیهٔ موجک، سیگنال به دو بخش تقسیم می‌شود: باند با فرکانس پایین یا تقریبی و باند با جزئیات دقیق با فرکانس بالا که هریک از آن‌ها حاوی باند نیمی از فرکانس سیگنال است.

یافته ها: باند فرکانس‌های مختلف سیگنال‌های EEG نمایندهٔ رفتار شناختی مغز هستند. این تحقیق شامل استفاده از روش مبتنی بر فرکانس زمان برای اندازه‌گیری هم‌زمانی فاز الکتروانسفالوگرام (EEG) است. در این پروژه، فرکانس نمونه‌برداری بالاتر از حد مورد نیاز توسط سخت‌افزار ۵۰۰ هرتز تنظیم شده است. سیگنال‌های EEG می‌توانند توسط آرتیفکت‌های بیرونی و ذاتی دچار اختلال شوند که سیگنال مورد نظر را مبهم می کنند. اختلالات اضافی به‌مانند صداها و سیگنال‌هایی هستند که از یک منبع خارجی به‌جای فیزیولوژی بدن ظاهر می شوند. نویز محیطی و نویز قطعات الکتریکی در EEG از طرف دیگر آثار دیگری از خطا را ایجاد و تقویت می‌کند. تمام این خطاها باید با پردازش مناسب حذف شوند. بعد از آنکه سیگنال مغزی و زمان ارسال صوت در آزمایش‌ها ثبت شد، مطالعه نشان داد دو ویژگی برتر از سیگنال ها باید استخراج شود. در تمام آزمایش‌ها مدت زمان واکنش بر اثر انفجار کارگران و کارکنان یکسان بود. برای هر نمونه و هر الکترود یک ویژگی ثبت شده که در تست‌هایی که صدای انفجار پخش می‌شود، جمع‌آوری شده است. شایان ذکر است در بعضی موارد استخراج ویژگی غیرممکن است؛ زیرا هیچ‌گونه تغییرپذیری قابل تشخیص با باند دلتا سیگنال در هنگام پخش صدای انفجار وجود ندارد. براساس این مطالعه، فرض کردیم که تغییرات در طیف توانی EEG در هنگام ارائهٔ محرک‌های شنوایی در مقایسه با شرایط استراحت بین افراد با و بدون تجربه در کارهای انفجار متفاوت خواهد بود. ما مقادیر قدرت را در باند فرکانس‌های تتا، آلفا و بتا تجزیه و تحلیل و اختلافات احتمالی بین گروه‌ها را در هر سه باند فرکانس آزمایش کردیم. گرادیان و زمان تغییرپذیری سیگنال پیرو ارسال صوت انفجار بررسی شد. ملاحظه می شود واکنش های پرسنل دانشگاه و آتشکاران در بعضی کانال های برداشت سیگنال مشابه و در بعضی دیگر کاملاً متفاوت‌اند. در برخی دیگر از کانال‌ها و حواس، واکنش افراد غیرآتشکار به صوت انفجار این‌گونه بوده که سطح سیگنال افت کرده و سطح هشیاری حرکتی و شنوایی آن‌ها کاهش یافته است؛ هرچند درخصوص پرسنل آتشکاری، عکس این موضوع اتفاق افتاده است.

نتیجه گیری: چگونه عادات شغلی بر رفتار انسان تأثیر می‌گذارد؟ این پرسش ساده به‌طور مکرر مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این مقاله ارزیابی رفتار کارگران درگیر با انفجار با تأکید بر سیگنال‌های مغزی آن‌هاست. کارمندان دانشگاه نیز نمایندهٔ عموم مردم‌اند که از انفجار دور هستند. با استفاده از این الگوریتم، ویژگی‌های غیرطبیعی فعالیت الکتریکی مغز تشخیص داده شد. در مواردی سطح سیگنال EEG آتشکاران، برخلاف مردم عادی، به‌دنبال شنیدن صوت انفجار افزایش می یابد که معرف افزایش سطح هشیاری حرکتی، گفتاری و بینایی ایشان است. این درحالی است که از منظر حواس شنیداری و غیرارادی، تفاوت محسوسی بین دو گروه مشاهده نشد. در بعضی موارد هیچ تأثیری در عملکرد مغز وجود نداشت و پاسخ فیزیولوژیکی در محدودهٔ مد نظر مشاهده نشد. درنتیجه مهم نبود که بدانند چه می‌شود. همگی آن‌ها وقتی صدای انفجار را شنیدند، دچار وحشت شدند. از نظر زمان واکنش به صدای انفجار، در بسیاری موارد تفاوت معنا داری بین آن‌ها وجود نداشت، به‌جز در حواس حرکتی و گفتاری که واکنش افراد عادی به‌مراتب سریع‌تر از آتشکاران بود. روایی اندازه گیری مبتنی بر EEG از طریق مقایسه با میزان به‌دست‌آمده از شواهد و سوابق کارگران که به‌عنوان اندازه‌گیری فیزیکی قابل اعتماد از عملکرد پذیرفته شده است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد کاربرد سیگنال EEG در اندازه‌گیری واکنش کارگران، به‌ویژه در کارهای آینده، برای درک شرایط کارگران بسیار ارزشمند و مهم است. این مطالعه می تواند به دانش و درکی قابل اعتماد از واکنش‌ها در زمینهٔ معدن کمک کند. درواقع این روش برای اندازه‌گیری مداوم عملکرد کارگران در هنگام کار با مواد منفجره در معدن ابزاری فراهم می کند.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*

منبع حمایت کننده: *دانشگاه صنعتی شاهرود.*

شیوه استناد به این مقاله:

Mahdi Bamdad, Behzad Tokhmechi, Reza Fazel-Rezai, Chiako Mokri. The Effect of Explosion on EEG Signals of Blasting Employees. Iran Occupational Health. 2020 (27 Dec);17:70.

***انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است**

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

مقدمه

پرسنل آتشکاری، همچون سربازان یا ساکنان مناطقی که مورد تجاوز جنگی قرار گرفته‌اند، به‌صورت پیوسته در معرض آتش و انفجار هستند. اگرچه مطالعاتی مرتبط با آتش‌سوزی در معادن زغال‌سنگ (۱) و پاسخ‌های فیزیولوژیکی و عملکرد شناختی (۲) همچنین سنجش حداکثر میزان اکسیژن مصرفی آتش‌نشان‌ها طی ارزیابی‌های ظرفیت هوازی انجام شده (۳)، بحث موج انفجار و تأثیر آن تاحدی مغفول مانده است. آتشکاران به‌صورت پیوسته در معرض موج انفجار هستند. اثر صدا با فرکانس‌های مختلف بر توجه انتخابی و زمان واکنش به‌صورت عمومی نتایج معنـــاداری ناشی از تأثیـــر فرکانس صدا بر نمرهٔ تداخل و زمـان تداخل افـراد دارد (۴)؛ به‌نحوی که مواجهه با صدا در فرکانس‌های مختلف باعث افزایش متناسب تعداد خطا می‌شود. اگرچه یکی از اثرات انفجار ویژگی‌های آکوستیکی آن است، در اینجا ارتباط آن با رفتار مستقیم افراد در معرض صدای محیط کار مد نظر نیست؛ بلکه نگرانی عمده اثر امواج انفجار در اختلال عملکرد مغزی آتشکاران است.

بیش از ۲۰ سال است که محققان پژوهش‌هایی را درخصوص تأثیر انفجار بر فعالیت های مغزی سربازها انجام می دهند. (۵ـ۷) تقریباً تمامی این مطالعات اثبات کرده اند که امواج انفجار باعث اختلال در عملکرد مغز سربازها می شود؛ اما درعین حال، این اختلالات خفیف گزارش شده‌اند. به همین جهت، رویکردهایی برای بررسی اختلالات خفیف مغز نیز ارائه شده‌اند. (۸-۱۰) برای مثال محققان توصیه کرده اند که مطالعات کمّی که مبتنی بر پردازش سیگنال هستند، نسبت به مطالعات متداول پزشکی، حقایق دقیق‌تری از اختلالات مغزی در آسیب های جزئی را نشان می دهند. بررسی آسیب وارده به مغز حیوانات دربرابر موج انفجار نیز شبیه سازی متداولی بوده که صورت گرفته است. خوک (۱۱ـ۱۲)، موش صحرایی (۱۳ـ۱۵)، موش خانگی (۱۶ـ۱۷) و بز (۱۸) ازجمله حیواناتی بوده اند که این نوع آزمایش ها روی آن‌ها انجام شده است.

در این موارد بعضاً موج انفجار بسیار شدیدی نیز ایجاد شده؛ تاحدی که موجب خون‌ریزی مغزی حیوان و تلف شدن آن‌ها نیز شده است. (۸، ۱۰ـ۱۲، ۱۴) هدف از این مطالعات بررسی دقیق‌تر چگونگی تأثیرپذیری نواحی مختلف مغز از موج انفجار بوده است. در این میان، به‌نظر می رسد بررسی‌ای تخصصی درخصوص تأثیر موج انفجار بر فعالیت های مغزی پرسنل آتشکاری صورت نگرفته است. البته تعدادی از محققان تأثیر انفجار در مناطق کوهستانی (۱۹) و حتی معادن (۲۰) بر مغز را بررسی کرده اند؛ اما شاید تنها مطالعهٔ تاحدی مرتبط، تحقیقات چن و همکاران باشد (۲۱) که امواج حاصل از آتشباری بر روی مغز خوک را مورد بررسی قرار دادند. رکوردهای مغزی[1] خوک ۱۵ دقیقه پیش از آتشباری و ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۲ ساعت، ۱ روز، ۲ روز و ۳ روز پس از آتشکاری ارزیابی شد. مطالعات ایشان اختلالات اندکی همچون کاهش دامنهٔ هشیاری و افزایش نوسانات فرکانس بالای مغزی را نشان داد.

اگرچه پاسخ انسان می‌تواند صرفاً از نظر فیزیولوژیکی یا روان‌شناختی باشد، در این تحقیق، اثرات بلندمدت بر رفتار مغز آتشکاران بررسی شد. با توجه به گسترش مطالعات بین‌رشته‌ای، کسب مهارت ثبت امواج مغزی برای محققان حوزهٔ ارگونومی و بهداشت حرفه‌ای ضرورت می‌یابد. برای این منظور، نظر مساعد شرکت خدمات آتشکاری معدن نگار نوین، جهت همکاری و مشارکت پرسنل محترم آن شرکت در برداشت اطلاعات جلب شد. همکاران دانشگاهی نیز به‌عنوان جامعهٔ مرجع غیرمرتبط با آتشکاری در تحقیق شرکت کردند. رکوردهای EEG داده های مورد استفاده در تحقیق بوده اند.

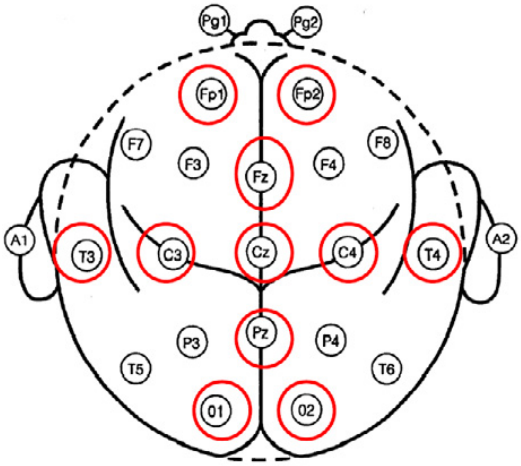
الکتروآنسفالوگرافی ازجمله روش‌های غیرتهاجمی و نسبتاً ارزان است که می‌توان جهت ارزیابی نوروفیزیولوژی و عملکردهای شناختی از آن بهره برد. الکتروآنسفالوگرافی فعالیت الکتریکی تعداد زیادی از نورون‌های مغز را بر روی سطح جمجمه یا سطح مغز دریافت و ثبت می‌نماید. می توان به‌منظور اندازه‌گیری متغیرهای شناختی از پارامترهای فیزیولوژیک طبق مبانی امواج مغزی استفاده کرد. (۲۲) تجزیهٔ سیگنال با استفاده از موجک، استخراج ویژگی از سیگنال ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها در این تحقیق صورت گرفته است. هدف این مقاله نشان دادن واکنش های متفاوت بخش های مختلف مغز پرسنل دانشگاه و آتشکاران درمقابل صدای انفجار و تجزیه و تحلیل واکنش های مذکور است.

داده های تحقیق

از آنجا که در مستندات علمی، فراوانی خاصی از جامعه

1 . Electroencephalography

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]



شکل ۱ـ الف. الگوی عمومی جامعهٔ نوروفیزیولوژی بالینی امریکا برای انتخاب محل اتصال سنسورها بر روی کلاهک (۱۹). کانالهای FP۱، FP۲، C۳، C۴، T۳، T۴، O۱ و O۲ برای انجام آزمایش انتخاب شدند.





شکل ۲ـ دو تن از همکاران آتشکار (راست) و دانشگاه (چپ) که در این تحقیق همکاری داشتند و نحوهٔ اتصال کانالها بر روی کلاهک برداشت، به‌منظور برداشت سیگنالهای مغزی (EEG). ابزار هادی امواج ماهیچهای[۱] که روی صورت نصب شده است، در ثبت واکنش الکتریکی ماهیچهها (EMG) به صوت انفجار کاربرد داشتهاند که موضوع تحقیق این مقاله نیست.

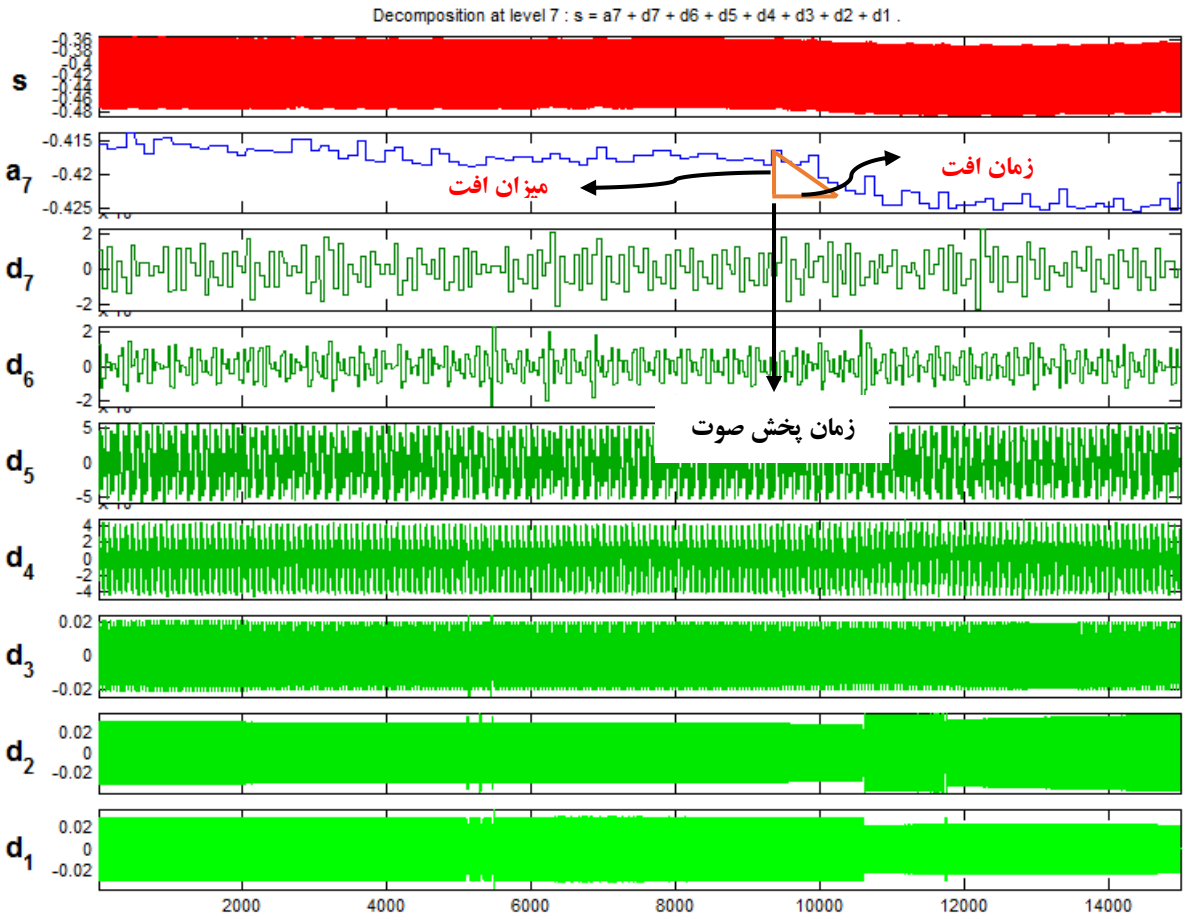
۱. Chest lead

مورد بررسی و یا حتی هیچ نوع ویژگی خاصی از رکوردهای EEG برای تحقیق موضوع این مقاله توصیه نشده، الگوی خاصی برای مطالعات وجود نداشت. بنابراین جامعهٔ آماری مورد بررسی به‌نحوی درنظر گرفته شد که با توجه به محدودیت های شرکت معدن نگار نوین در مأموریت دادن به پرسنلشان جهت حضور در دانشگاه و محدودیت های استفاده از آزمایشگاه حرکات اصلاحی و توان‌بخشی دانشگاه صنعتی شاهرود، اصولاً برداشت داده ها مقدور گردد. درعین حال اگرچه بدیهی است هرچه جامعهٔ آماری بزرگ‌تر باشد، امکان مقایسهٔ رفتار سیگنال‌های مغزی در باندهای فرکانسی مورد نظر بهتر فراهم می شود، باید توجه کرد که رویکرد برداشت و پردازش سیگنال یک روش پرهزینه دست‌کم به‌لحاظ زمانی است؛ به‌نحوی که عمدتاً در پژوهشهای مرتبط تعداد نمونهٔ زیاد موجب تلاقی مشخصه های آماری و در برخی موارد دور شدن از یک نتیجهٔ منطقی می گردد و الزاماً نتایج قابل تعمیم‌تری حاصل نخواهد شد. (۸) با توجه به مراجع و پروتکل های موجود، در انتها جامعه ای به شرح زیر در برداشت داده ها مشارکت کردند:

پنج نفر پرسنل دانشگاه به‌عنوان نمایندهٔ جامعه ای که هیچ‌گاه در معرض امواج انفجار نبوده اند.

پنج نفر آتشکار شاغل در معادن مختلف.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]



شکل ۳ـ نتایج تجزیهٔ سیگنال EEG تا سطح هفتم، مربوط به کانال FP۱ یکی از پرسنل دانشگاه در حالتی که صدای انفجار بدون اطلاع پخش‌شده است. بخش تقریب سطح هفتم (a_7) بررسی شده است.

تلاش شد حتی الامکان جامعهٔ آماری مورد مطالعه در یک محدودهٔ سنی مشابه باشند. تقریباً کل مشارکت‌کنندگان در آزمایش در بازهٔ سنی ۳۲ تا ۴۲ سال قرار داشتند. در ضمن کل مشارکت‌کنندگان از سلامت عمومی جسمانی برخوردار بودند. آزمایش به این ترتیب طراحی شد که به‌صورت ناگهانی و بدون اطلاع قبلی، صوت انفجار پخش شد. سیگنال مغزی و زمان ارسال صوت در این شرایط برداشت شد.

برای برداشت ها، از کلاهک برداشت هشت‌سنسوره استفاده شد. شایان ذکر است که انتخاب ۸ سنسور به‌دلیل محدودیت های آزمایشگاه بود. برای انتخاب محل اتصال سنسورها بر روی کلاهک مطابق دستورالعمل جامعهٔ توروفیزیولوژی بالینی امریکا[1] عمل شد. (۲۳) تصویر این دستورالعمل در شکل ۱ و تصویر نحوهٔ نصب کانال ها بر روی کلاهک برداشت در شکل ۲ نمایش داده شده است.

علاوه‌بر ۸ کانال مورد اشاره، الکترودهای مرجع[2] و زمین[3] نیز به دو گوش آزمایش‌شونده‌ها وصل شد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می شود، ۱۱ محل برای اتصال سنسورها مشخص شده است. از این ۱۱ محل، ۸ کانال زیر برای برداشت اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت: FP1، FP2، C3، C4، T3، T4، O1 و O2.

دلیل انتخاب ۸ کانال فوق آن بود که از هر چهار بخش هر دو نیمکرهٔ مغز اطلاعات برداشت شود. گفتنی است مغز به دو نیمکره[4]ی چپ و راست و چهار بخش تقسیم می شود که هرکدام رفتار عصبی بخشی از حواس انسان را کنترل و نمایندگی می کنند. این چهار بخش شامل نرمهٔ پیشانی[5] (نورون های تحرک و سخن گفتن)، نرمهٔ جداری[6]

1 . American Clinical Neurophysiology Society

2 . Reference electrode
3 . Ground electrode
4 . Hemisphere
5 . Frontal Lobe
6 . Parietal Lobe

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

جدول ۱ـ میانگین گرادیان و زمان واکنش شرکت‌کنندگان در آزمایش در کانال های مختلف

حس متأثر	کانال	گرادیان		زمان (ثانیه)	
		پرسنل دانشگاه	آتشکاران	پرسنل دانشگاه	آتشکاران
حس تحرک	*FP1*	-۰/۰۱۷۵	۰/۰۱۴۶	۴/۴	۹/۳
حس سخن گفتن	*FP2*	-۰/۰۱۴۸	۰/۰۱۱۰	۵/۰	۹/۳
حس واکنش‌های غیرارادی	*C3*	-۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۵۱	۵/۹	۶/۶
	C4	-۰/۰۰۲۰	-۰/۰۰۳۸	۸/۰	۴/۷
حس شنوایی	*T3*	-۰/۰۱۳۸	۰/۰۰۹۲	۳/۹	۴/۸
	T4	-۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۳۴	۴/۰	۴/۹
حس بینایی	*O1*	-۰/۰۰۶۶	-۰/۰۰۸۰	۴/۲	۱۰/۸
	O2	-۰/۰۳۰۹	-۰/۰۱۲۶	۳/۷	۳/۹

(نورون های واکنش های غیرارادی)، نرمهٔ شقیقه ای[1] (نورون های شنوایی) و نرمهٔ گوشه ای[2] (نورون های بینایی) هستند. (۲۴)

سیگنال ها در محدودهٔ فرکانسی صفر تا ۵۰۰ هرتز برداشت شدند. بنابراین از آنجا که فرکانس بالای مطالعه معادل ۵۰۰ Hz بود، ۵۰۰ داده در هر ثانیه برداشت شد.

استخراج ویژگی ها

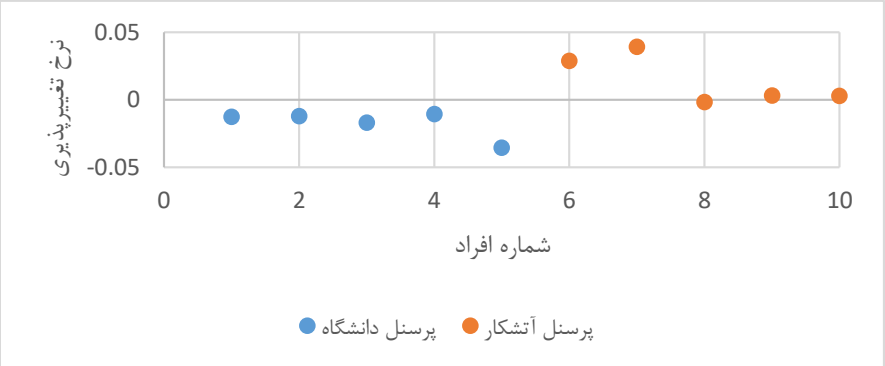
اصولاً داده های EEG در محدوده های مختلف فرکانسی، ویژگی های متفاوتی از رفتار مغز را نمایندگی می کنند. از آنجا که هدف این تحقیق بررسی رفتار پرسنل مختلف و درواقع واکنش آن‌ها به صوت انفجار است، بنابراین محدودهٔ فرکانسی صفر تا ۴ هرتز، دلتا[3]، برای مطالعات انتخاب شد. لازم است ذکر شود که واکنش مغز به یک کنش، در این محدودهٔ فرکانسی ثبت می شود. (۲۵ـ۲۶) برای این منظور، ابتدا داده های خارج از ردیف که البته فراوانی بسیار اندکی داشتند، از سیگنال ها حذف و سپس سیگنال ها توسط موجک مادر هار[4] تا سطح هفتم تجزیه شد. یادآور می گردد که در هر سطح از تجزیهٔ یک سیگنال توسط یک موجک، محدودهٔ فرکانسی دو سیگنال حاصل از تجزیه به دو بخش فرکانس پایین و فرکانس بالا تفکیک می شود. بنابراین از آنجا که سیگنال های EEG مورد مطالعه در این تحقیق در بازهٔ فرکانسی صفر تا ۵۰۰ هرتز بودند، در تجزیه سطح اول دو سیگنال با فرکانس پایین صفر تا ۲۵۰ هرتز و فرکانس بالا ۲۵۰ تا ۵۰۰ هرتز به‌دست می‌آید که به‌ترتیب تقریب[5] و جزئیات[6] نامیده و با a و d نمایش داده شد. سپس در هر سطح صرفاً بخش تقریب تجزیه گردید.

دامنهٔ فرکانسی بخش تقریب سیگنال در سطح هفتم (a7)، صفر تا ۴ هرتز بود که در محدودهٔ فرکانسی دلتا قرار می گیرد. در شکل ۳، نتایج تجزیهٔ سیگنال EEG تا سطح هفتم، مربوط به کانال FP1 یکی از پرسنل دانشگاه نمایش داده شده است. چنان‌که در این شکل ملاحظه می شود، عموماً بخش های فرکانس بالای سیگنال (d1 تا d4) شبیه نوفه سفید[7] هستند و به همین دلیل نیز نه‌تنها آن‌ها قابل تفسیر نیستند، بلکه حتی تفسیر سیگنال اصلی نیز به‌دلیل نسبت پایین سیگنال به نوفه، تقریباً غیرممکن است. لذا اصولاً امکان تفسیر سیگنال در کل بازهٔ فرکانسی امکان پذیر نبود.

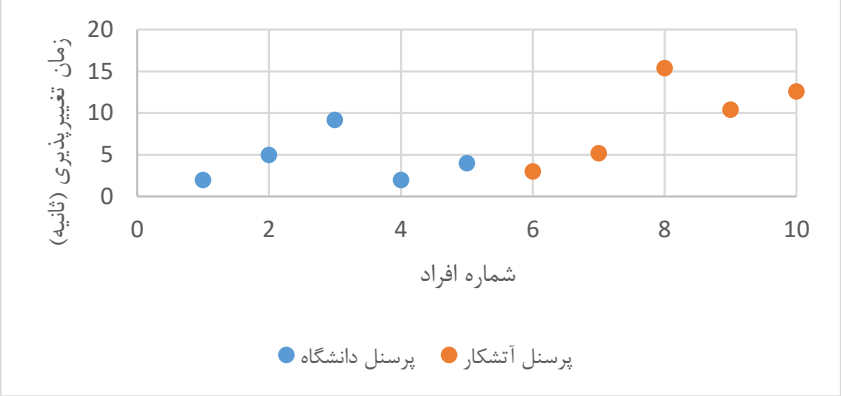
دو نوع اطلاعات از بخش سطح هفتم تقریب (a7) سیگنال های EEG استخراج شده که یکی نرخ و دیگری زمان افت یا رشد سیگنال، پیرو پ‌ەخش صدای انفجار بوده است. برای مثال در شکل ۳ و بر روی a7، زمان پخش صوت انفجار مشخص و میزان افت و زمان متناظر نمایش داده شده است. چنان‌که در این شکل مشاهده می شود، پیرو پخش صوت انفجار، سطح سیگنال افت نشان داده است. بدیهی است که نرخ افت (رشد) از حاصل تقسیم میزان افت بر زمان متناظر به‌دست می آید. بنابراین برای هر کانال، دو ویژگی نرخ و زمان افت یا رشد سطح هفتم تقریب (a7) سیگنال EEG، استخراج گردید.

1 . Temporal Lobe
2 . Occipital Lobe
3 . Delta
4 . Haar mother wavelet
5 . Approximation
6 . Details
7 . نوفهٔ سفید آن تغییرپذیری است که میانگین صفر دارد و عموماً حاوی اطلاعات خاصی نیست.

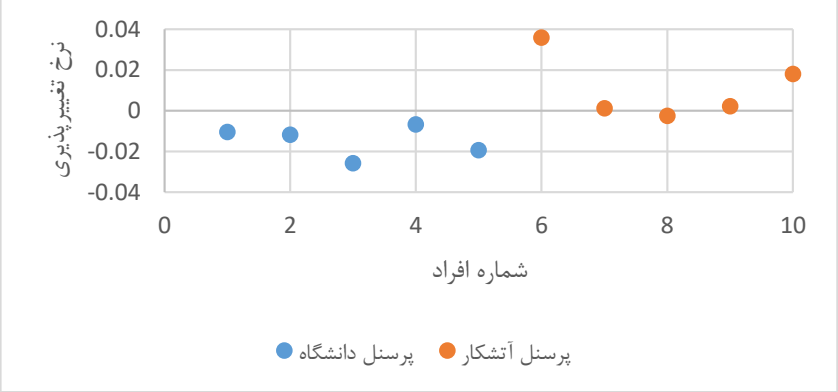
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]



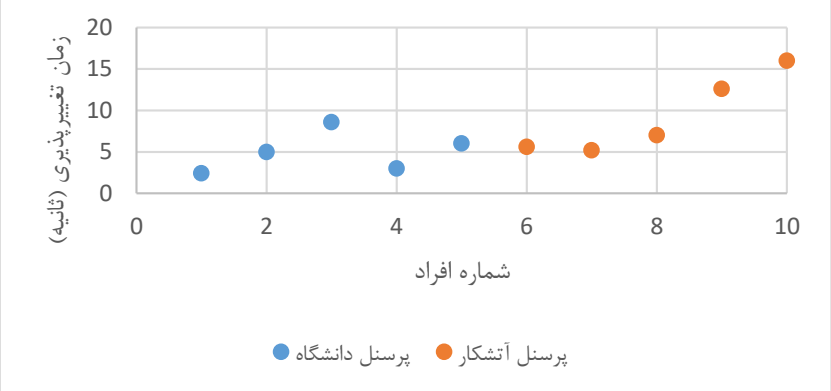
FP1



FP1

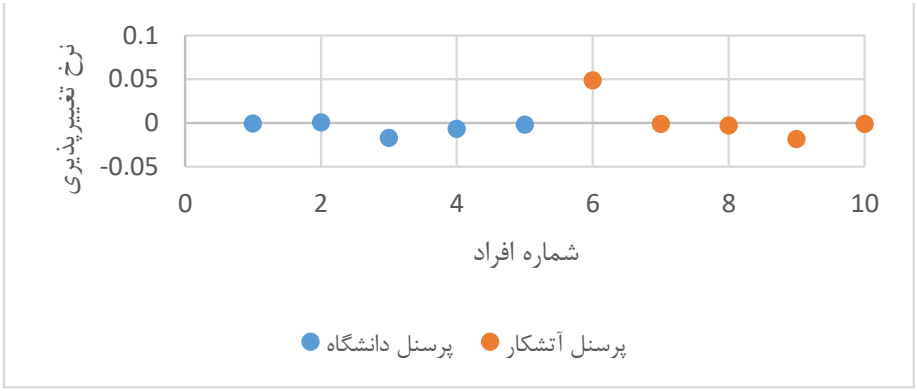


FP2

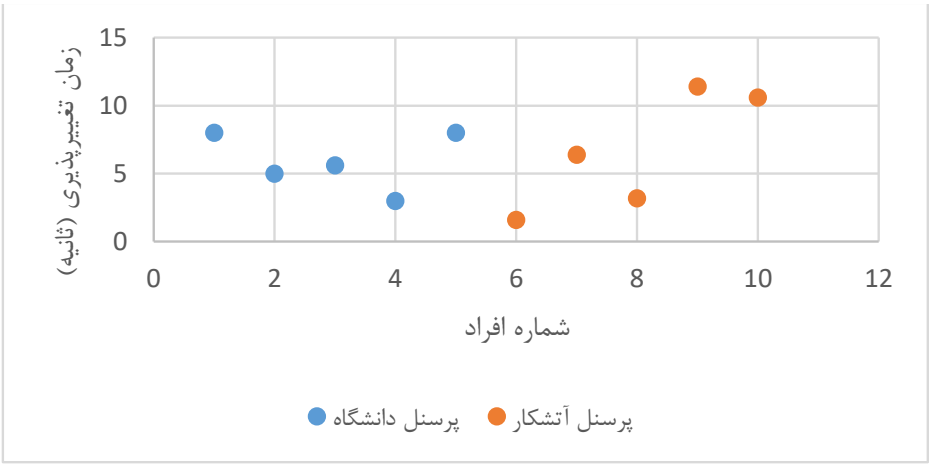


FP2

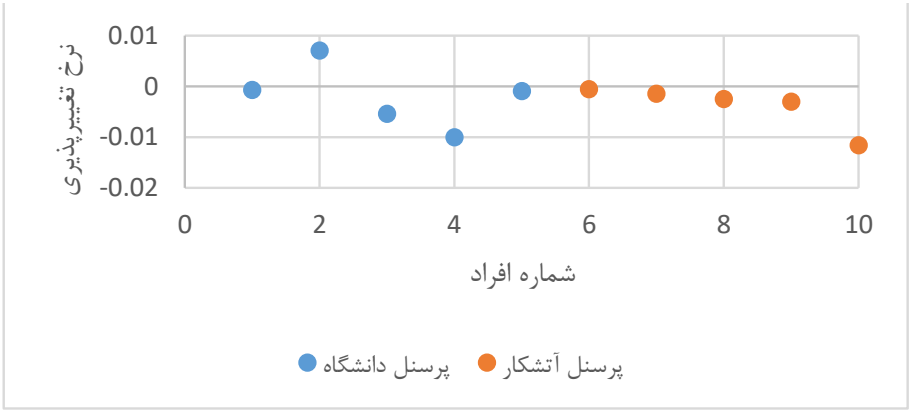
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]



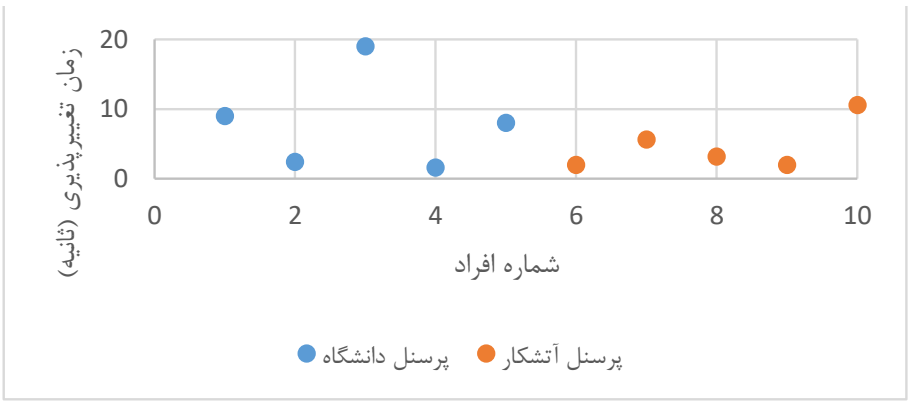
C3



C3

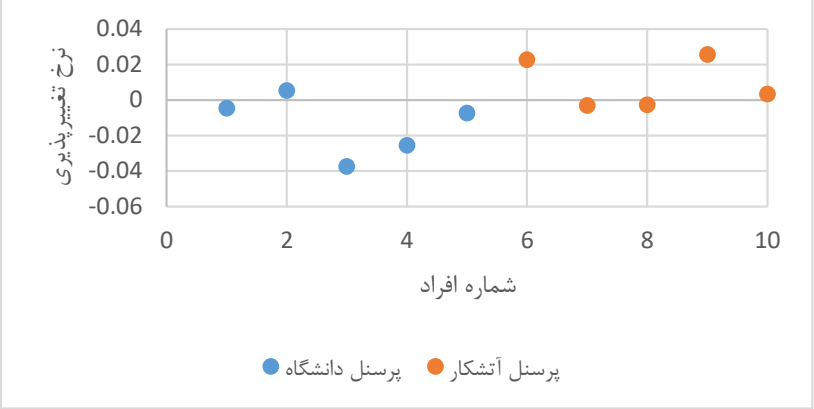


C4

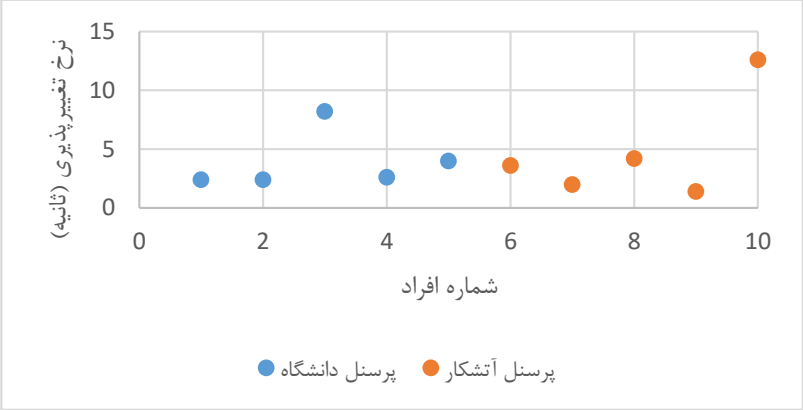


C4

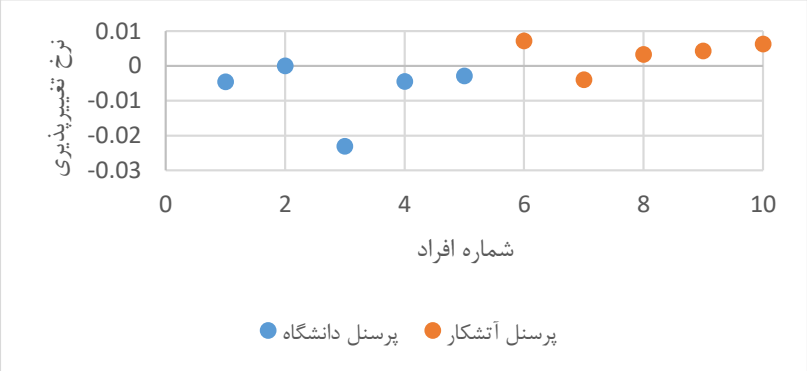
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]



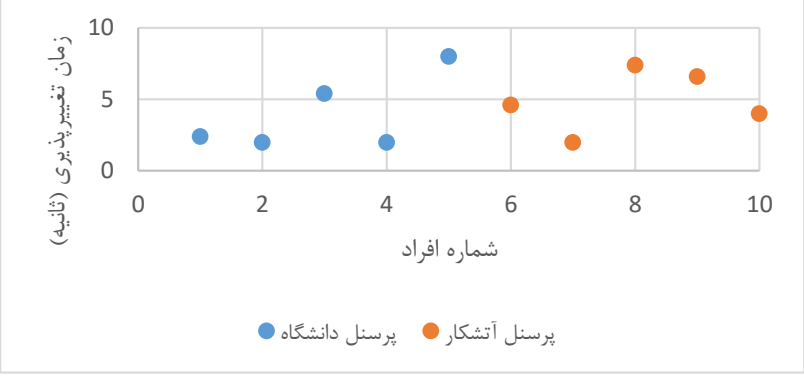
T3



T3

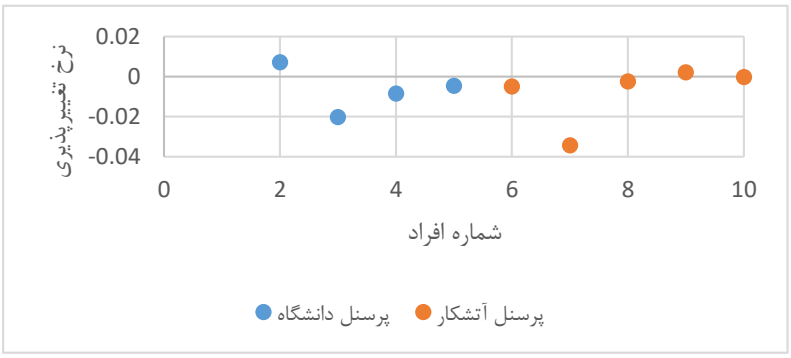


T4

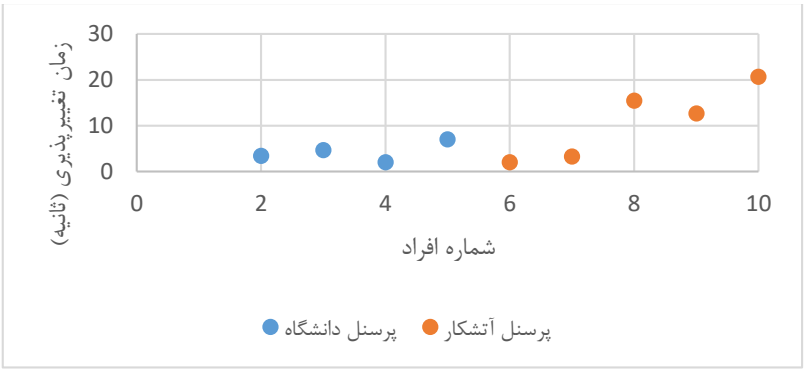


T4

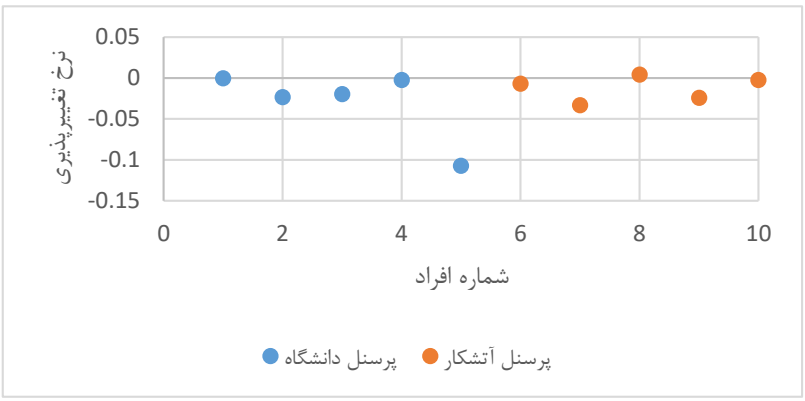
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]



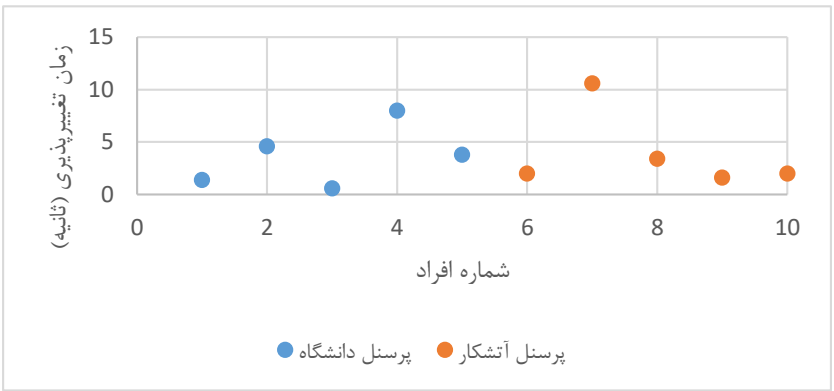
O1



O1



O2



O2

شکل ٤ـ نتایج مربوط به نرخ و زمان کاهش یا افزایش سیگنالهای محدود فرکانسی صفر تا ۴ هرتز (Delta) مربوط به پرسنل دانشگاه و آتشکاران در کانالهای هشت‌گانه. نام کانال در زیر هر شکل نوشته شده است.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

نتایج و تفسیر

در شکل ۴ نتایج مربوط به نرخ و زمان کاهش یا افزایش سیگنال های محدود فرکانسی صفر تا ۴ هرتز (Delta) مربوط به پرسنل دانشگاه و آتشکاران معادن روباز و زیرزمینی در کانال های هشت‌گانه آورده شده است. چنان‌که پیش‌تر نیز ذکر شد، تعداد افراد شرکت‌کننده در آزمایش ها ۱۰ نفر بوده است؛ درحالی که نتایج ارائه‌شده در نمودارهای شانزده‌گانهٔ شکل ۴ متفاوت و تماماً کمتر از ۱۷ مورد است. دلیل این موضوع آن است که در بعضی موارد کانال قطع بود و داده ای برداشت نشد و یا هنگام پخش صدای انفجار تغییرپذیری محسوسی در باند فرکانسی a7 سیگنال مشاهده نشد. در جدول ۱، میانگین نرخ و زمان تغییرات سیگنال های کانال های مختلف به تفکیک برای پرسنل دانشگاه و آتشکاران معادن روباز و زیرزمینی آورده شده است.

چنان‌که در شکل ۴ و جدول ۱ ملاحظه می شود، واکنش های پرسنل دانشگاه و آتشکاران در بعضی حواس مشابه و در بعضی دیگر کاملاً متفاوت است. در کانال ها FP1، FP2، T3 و T4، واکنش پرسنل دانشگاه به صوت انفجار این‌گونه بوده که سطح سیگنال افت کرده است؛ به این ترتیب که این افراد شوکه شده اند و سطح هشیاری حرکتی، گفتاری و شنوایی‌شان کاهش یافته است. (۲۷)

دربارهٔ پرسنل آتشکاری عکس این موضوع اتفاق افتاده است؛ یعنی سطح سیگنال ایشان پس از شنیدن موج انفجار افزایش یافته و به‌طور طبیعی سطح هشیاری حرکتی، گفتاری و شنوایی آن‌ها به‌تناسب افزایش پیدا کرده است که معرف آن است پرسنل آتشکاری، برخلاف اشخاص عادی، آمادگی زیادی برای واکنش در این شرایط دارند. علاوه‌بر این در کانال های FP1 و FP2 و به‌لحاظ زمان واکنش نیز، رفتار پرسنل آتشکاری و دانشگاه تفاوت محسوسی دارد. زمان واکنش پرسنل آتشکاری حدود دوبرابر پرسنل دانشگاه است. این موضوع نشان‌دهندهٔ طمأنینه و احتمالاً احتیاط بیشتر پرسنل آتشکاری در حواس حرکتی و گفتاری است.

از منظر دیگر کانال ها (C3، C4، O1 و O2)، تفاوت معناداری در گرادیان سطح سیگنال بین پرسنل دانشگاه و آتشکاری مشاهده نمی شود؛ به این معنا که رفتار غیرارادی و بینایی پرسنل آتشکار و دانشگاه طی زمان و بسته به سوابق شغلی ایشان تغییری نمی کند. زمان واکنش بخش هایی از مغز که مرتبط با حواس غیرارادی، شنوایی و بینایی هستند، نیز در شرکت‌کنندگان در آزمایش تفاوت معنا داری نمی کند. بنابراین تابعی از سوابق شغلی ایشان نبوده است.

نتیجه گیری

این سؤال که عادات شغلی چه تأثیری بر رفتار اشخاص می گذارد، توسط محققان حوزه های مختلف دانش واکاوی شده است. موضوع مورد بحث این تحقیق نیز تأثیر عادات آتشکاران بر رفتار ایشان بود. رویکرد این مقاله بررسی موضوع در قالب سیگنال های مغزی، EEG، بود. به‌منظور مقایسه، تعدادی از پرسنل دانشگاه نیز در تحقیق شرکت داده شدند که نقش جامعهٔ مرجع را، یعنی افرادی که درگیر آتشکاری نبوده اند، بازی می کردند.

بررسی های نشان داد آتشکاران، برخلاف پرسنل دانشگاه (که نمونه ای از مردم عادی جامعه هستند)، به‌دنبال شنیدن صوت انفجار، سطح هشیاری حرکتی، گفتاری و شنیداری‌شان افزایش می یابد؛ هرچند درکل از منظر رفتار غیرارادی و بینایی تفاوت زیادی بین پرسنل آتشکار و غیرآتشکار مشاهده نشد و در هر دو گروه سطح هشیاری کاهش پیدا کرد. از نظر زمان واکنش به صدای انفجار، به غیر از حواس حرکتی و گفتاری که واکنش مغزی آتشکاران کُند بود، در دیگر حواس، تفاوت معنا داری بین پرسنل آتشکار و غیرآتشکار وجود نداشت. نکتهٔ کلی دیگر این است که درکل تفاوت معنا داری بین رفتار سیگنال های دو نیمکرهٔ مغز مشاهده نشد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه صنعتی شاهرود و در آزمایشگاه حرکات اصلاحی و توان‌بخشی دانشکده های مهندسی مکانیک و تربیت‌بدنی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده که بدین‌وسیله از ایشان تقدیر می گردد. لازم است از همکاری شایستهٔ شرکت خدمات آتشکاری معدن‌نگار نوین و پرسنل شریف آن شرکت به‌دلیل مشارکت در برداشت داده ها تقدیر شود. درضمن از همکاران و دانشجویان محترم دانشگاه صنعتی شاهرود که در برداشت داده ها مشارکت کردند، نیز تشکر می‌نماید.

References

1. Jahanbani Z, Sereshki F, Ataei M, Ghanbari K. Risk Assessment of Fire by using Fuzzy Fault Tree Analysis Case study: Eastern Alborz Coal Mines.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

A, Bolouri H. Low-level blasts raise intracranial pressure and impair cognitive function in rats. Journal of Neurotrauma 2009; 26: 1345-1352.
14. Bir C, Vandevord P, Shen Y, Raza W, Haacke EM. Effects of variable blast pressures on blood flow and oxygen saturation in rat brain as evidenced using MRI. Magnetic Resonance Imaging 2012; 30: 527-534.
15. Kabu S, Jaffer H, Petro M, Dudzinski D, Stewart D, Courtney A, Courtney M, Labhasetwar V. Blast-associated shock waves result in increased brain vascular leakage and elevated ROS levels in a rat model of traumatic brain injury. PLoS One 2015; 10: e0127971.
16. Koliatsos VE, Cernak I, Xu L, Song Y, Savonenko A, Crain BJ, Eberhart CG, Frangakis CE, Melnikova T, Kim H, et al. A mouse model of blast injury to brain: initial pathological, neuropathological, and behavioral characterization. Journal of Neuropathology & Experimental Neurology 2011; 70: 399-416.
17. Hue CD, Cho FS, Cao S, Nicholls RE, Vogel Iii EW, Sibindi C, Arancio O, Bass C, Meaney D, Morrison Iii B 3rd. Time course and size of blood-brain barrier opening in a mouse model of blast-induced traumatic brain injury. Journal of Neurotrauma 2016; 33: 1202-1211.
18. Li BC, Li Y, Xu C, Wang J, Chen Z, Li G, Zhang J, Hu S, Wang L, Feng H. Blast-induced traumatic brain injury of goats in confined space. Neurological Research 2014; 36: 974-982.
19. Cernak I, Savic J, Ignjatovic D, Jevtic M. Blast injury from explosive munitions. Journal of Trauma 1999; 47: 96-103; discussion 103-104.
20. Zhang L, Kallakuri S, Desai A, Mathei J, Dawe L, Feng K, Chen C, Cavanaugh J, King A. Open field primary blast exposure induces neuronal and glial alternations in frontal cortex. Journal of Neurotrauma 2015; 32: B2-12.
21. Chen C, Zhou C, Cavanaugh JM, Kallakuri S, Desai A, Zhang L. King AI., Quantitative electroencephalography in a swine model of blast-induced brain injury, Brain Injury 2017; 31(1): 120-126.
22. Jafari MJ, Pouyakian M, Khosrowabadi R, Taheri F, Nahvi A, Zokaei M. Brainwave recording protocol in human samples: Neuroerogonomics studies. ioh. 2018; 15 (3): 141-153. [Persian]
23. Shellhaas RA, Chang T, Tsuchida T, Scher MS, Riviello JJ, Abend NS, Nguyen S, Wusthoff CJ, Clancy RR The American Clinical Neurophysiology Society's Guideline on ioh. 2017; 14 (3): 46-57. [Persian]
2. Zare S, Hemmatjo R, Allahyari T, Hajaghazadeh M, Hajivandi A, Aghabeigi M, Kazemi R. Comparison of the effect of typical firefighting activities, live fire drills and rescue operations at height on firefighters' physiological responses and cognitive function. Ergonomics. 2018 Oct 3; 61(10): 1334-44.
3. Firoozeh M, Saremi M, Maleki A, Kavousi A. Investigation of Maximal Aerobic Capacity and Associated Factors in Firefighters. ioh. 2015; 12 (3): 15-26 [Persian]
4. Beheshti MH, Mousavian Z, Mehri A, Zia G, Tajpoor A, Hajizadeh R. The effect of sound with different frequencies on selective attention and human response time. ioh. 2018; 15 (3): 118-128. [Persian]
5. Hoge CW, McGurk D, Thomas JL, Cox AL, Engel CC, Castro CA. Mild traumatic brain injury in U.S. Soldiers returning from Iraq. New England Journal of Medicine 2008; 358: 453-463.
6. Belanger HG, Kretzmer T, Yoash-Gantz R, Pickett T, Tupler LA. Cognitive sequelae of blast-related versus other mechanisms of brain trauma. Journal of the International Neuropsychological Society 2009; 15: 1-8.
7. Sponheim SR, McGuire KA, Kang SS, Davenport ND, Aviyente S, Bernat EM, Lim KO. Evidence of disrupted functional connectivity in the brain after combat-related blast injury. Neuroimage 2011; 54 (Suppl 1): S21-29.
8. Nuwer MR, Hovda DA, Schrader LM, Vespa PM. Routine and quantitative EEG in mild traumatic brain injury. Clinical Neurophysiology 2005; 116: 2001-2025.
9. Chen YC, Smith DH, Meaney DF. In-vitro approaches for studying blast-induced traumatic brain injury. Journal of Neurotrauma 2009; 26: 861-876.
10. Kan EM, Ling EA, Lu J. Microenvironment changes in mild traumatic brain injury. Brain Research Bulletin 2012; 87: 359-372.
11. Axelsson H, Hjelmqvist H, Medin A, Persson JK, Suneson A. Physiological changes in pigs exposed to a blast wave from a detonating high-explosive charge. Military Medicine 2000; 165: 119-126.
12. Zhu F, Skelton P, Chou CC, Mao H, Yang KH, King AI. Biomechanical responses of a pig head under blast loading: a computational simulation. International Journal of Numerical Methods in Biomedical Engineering 2013; 29: 392-407.
13. Saljo A, Svensson B, Mayorga M, Hamberger

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

Continuous EEG Monitoring in Neonates, Neonatal EEG Monitoring Consensus Statement, 17 pages.
24. Martini FH, Ober WC, Nath JL, Visual Anatomy and Physiology, 3rd edition, 2018, Pearson, ISBN: 0134394690, LCCN: 2016045395.
25. Deuschl, G., 1999. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology. guidelines of the International Federation of Clinical Neurophysiology.
26. Kirmizi-Alsan, E, Bayraktaroglu Z, Gurvit H, Keskin YH, Emre M, Demiralp T, Comparative analysis of event-related potentials during Go/NoGo and CPT: Decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention. Brain Research. 2006; 1104 (1): 114-28. doi:10.1016/j.brainres.2006.03.010. PMID 16824492.
27. Stanfield CL, Principles of Human Physiology Plus Mastering A&P with Pearson eText, 6th edition, University of South Alabama, Mobile, Alabama, 2017, Pearson, ISBN-10: 0134169042, ISBN-13: 9780134169040.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]