

## Investigation of Relationship between Noise Annoyance and Neurophysiological Responses of Drivers in Exposure to Tractor Sound

Majid Lashgari<sup>1\*</sup>, Mohammad Reza Arab<sup>2</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran
2. Department of Biomedical Engineering, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

---

### Article Info

#### Original Article

Received: 2018/09/16  
Accepted: 2018/11/29  
Published Online: 2019/01/07

DOI: 10.30699/jergon.6.3.7

Use your device to scan  
and read the article online



#### Corresponding Information

##### Majid Lashgari

Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

**Email:** m-lashgari@araku.ac.ir

### Abstract

**Background & Objectives:** Sound as a detrimental factor in working environments can create annoying conditions for people in addition to physical problems. Therefore, in addition to evaluating quantitative parameters such as pressure levels, it is absolutely necessary to study the quality parameters of the sound in the work environment.

**Methods:** In this descriptive-analytic research, the sound of 285 MF tractor was recorded. Then, the EEG of five drivers were recorded in the pre-driving state and then when driving with the tractor in four different engine speed. The psychoacoustic annoyance model was used to assess the annoyance of tractor drivers. Then means were compared with Duncan comparison test at 5% probability level and the correlation between psychoacoustic acoustic and alpha and beta bands was determined.

**Results:** The results of ANOVA showed that different levels of engine speed on psychoacoustic annoyance were significant at 1% probability level. The results also showed a decrease in the amplitude of the alpha band, as well as an increase in the beta band amplitude due to increased engine speed. Regression results showed that there is a high correlation between the two alpha and beta bands and the psychoacoustic annoyance, so that the detection coefficient was 0.966 and 0.998, respectively, for the two bands alpha and beta.

**Conclusion:** This study showed that changes in the quality parameters of the sound and consequently the resulting annoyance caused the amplitude changes in both the alpha and beta bands. So, it can be concluded that the psychoacoustic annoyance is a good indicator of brain activity.

**Keywords:** Psychoacoustic Annoyance, Sound Quality, EEG

#### How to Cite This Article:

Lashgari M, Arab M. Investigation of Relationship between Noise Annoyance and Neurophysiological Responses of Drivers in Exposure to Tractor Sound. J Ergon. 2018; 6 (3): 65-74

## بررسی ارتباط آزردهای صوتی و پاسخ‌های نروفیزیولوژیک رانندگان در مواجهه با صدای تراکتور

مجید لشگری<sup>۱\*</sup>، محمدرضا عرب<sup>۲</sup>

۱. گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۲. واحد تجهیزات پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
<p><b>زمینه و هدف:</b> صدا به‌عنوان یک عامل زیان‌آور در محیط‌های کاری می‌تواند علاوه بر مشکلات جسمی، به لحاظ آسایشی نیز شرایط آزاردهنده‌ای برای افراد ایجاد کند. بنابراین علاوه بر ارزیابی پارامترهای کمی همچون تراز فشار، بررسی پارامترهای کیفی صدا در محیط‌های کاری نیز کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.</p> <p><b>روش کار:</b> در این تحقیق توصیفی - تحلیلی، صدای تراکتور مسی‌فرگوسن مدل ۲۸۵ ضبط و اندازه‌گیری شد. سپس نوار مغزی پنج راننده در وضعیت پیش از رانندگی و پس از آن هنگام رانندگی با تراکتور و در چهار دور مختلف موتور ثبت شد. از مدل آزردهای روان - آکوستیک، به‌منظور ارزیابی میزان آزردهای رانندگان تراکتور استفاده شد. سپس مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند و میزان همبستگی میان آزردهای روان - آکوستیک و باندهای آلفا و بتا تعیین شد.</p> <p><b>یافته‌ها:</b> نتایج آنالیز واریانس آزردهای روان - آکوستیک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد برای سطوح مختلف دور موتور نشان داد. همچنین نتایج، حاکی از کاهش دامنه باندهای آلفا و همچنین افزایش دامنه باندهای بتا در اثر افزایش دور موتور بود. نتایج رگرسیون نیز نشان داد که همبستگی بالایی بین دو باند آلفا و بتا و آزردهای روان - آکوستیک وجود دارد؛ به‌طوری که ضریب تشخیص ۰/۹۶۶ و ۰/۹۸۹ به ترتیب برای دو باند آلفا و بتا به دست آمد.</p> <p><b>نتیجه‌گیری:</b> این بررسی نشان داد که تغییرات در پارامترهای کیفی صدای تولیدشده و در نتیجه میزان آزردهای ناشی از آن، باعث ایجاد تغییرات دامنه در هر دو باند آلفا و بتا شده است. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آزردهای روان - آکوستیک، شاخص خوبی برای ارزیابی فعالیت مغزی به شمار می‌آید.</p> <p><b>واژه‌های کلیدی:</b> آزردهای روان - آکوستیک، کیفیت صدا، نوار مغزی، راننده</p>	<p>تاریخ وصول: ۱۳۹۷/۶/۲۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۸</p> <p>انتشار آنلاین: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷</p> <p><b>نویسنده مسئول:</b> <b>مجید لشگری</b></p> <p>گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران</p> <p><b>پست الکترونیک:</b> m-lashgari@araku.ac.ir</p>

(Acoustic Annoyance) است. آزردهای صوتی ارتباطی با سلامت کاربران نداشته و صرفاً معیاری برای بیان میزان آسایش و راحتی کاربر است. در خصوص ارزیابی آزردهای صوتی، پارامترهای کمی همچون تراز فشار صدا نمی‌تواند معیار خوبی از احساس شنوایی کسانی که در معرض صدا قرار دارند محسوب شود. به‌عنوان مثال، ممکن است صدای ایجادشده به لحاظ استاندارد دارای تراز فشار پایینی باشد و بنابراین برای کاربر مخاطره‌آمیز نباشد؛ اما به لحاظ کیفی شرایط آزاردهنده‌ای برای کاربر ایجاد شود. لذا علاوه بر کاهش تراز فشار صدا، ضروری است عوامل مؤثر در ایجاد آزردهای صوتی نیز مدنظر قرار گیرند [۳]. برای این منظور معیارهای کیفیت صدا (Sound Quality) برای بیان احساس ذهنی افراد موردنیاز است. پارامترهای کیفیت صدا در واقع شرایط درک رابطه پیچیده مقادیر فیزیکی و ادراکی صدا را فراهم می‌سازند. به همین جهت روان - آکوستیک (Psycho-acoustic) برای مطالعه درک ذهنی انسان از صداها مطرح شد. در واقع روان - آکوستیک، ویژگی‌های فیزیکی صدا را به احساس و درک برخاسته از آن مربوط می‌سازد [۴].

### مقدمه

آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین معضلاتی است که در محیط‌های کار و زندگی به‌همراه ورود ماشین‌ها و تجهیزات به این عرصه‌ها پدیدار شده است. سروصدا به‌عنوان پدیده‌ای ناخواسته و ناخوشایند موجب صدمات جسمی و روانی انسان می‌شود. مهم‌ترین آثار نامطلوب سروصدا بر انسان، مواردی مانند افت شنوایی دائم و موقت، اختلال در سیستم بینایی، برهم‌زدن سیستم تعادلی بدن، ایجاد ناراحتی‌های عصبی و روانی، کاهش بازده کار و افزایش ریسک حوادث و آثار فیزیولوژیکی روی بدن مانند افزایش ضربان قلب، فشارخون، مصرف اکسیژن و تنفس است [۱، ۲]. با توجه به آثار زیان‌بار آلودگی‌های صوتی بر سلامت انسان، تحقیقات گسترده‌ای در این خصوص صورت گرفته است. در همین راستا پژوهشگران تاکنون تلاش‌های بسیاری برای کاهش صوت و کنترل صدا، عایق‌بندی محیط‌های پرسروصدا، ایجاد حفاظ و غیره انجام داده‌اند.

یکی دیگر از موضوعات مربوط به صدا، آزردهای صوتی

با توجه به اینکه روان - آکوستیک در واقع درک ذهنی انسان از صدا است، بنابراین تأثیر پارامترهای کیفی صدا بر سیگنال‌های مغزی نیز دارای اهمیت خواهد بود. به همین منظور، تأثیر پارامترهایی مثل بلندی، تیزی، زبری و قدرت نوسان بر برخی از باندهای نوار مغزی، مطالعه شده است. نتایج این تحقیقات بیانگر همبستگی بلندی صدا و باند آلفا است [۲۰].

به‌طور قطع، افرادی که در امور مختلف کشاورزی مشغول فعالیت هستند، در معرض بسیاری از منابع سروصدا قرار دارند. به همین دلیل، موضوع سروصدا و تأثیرات آن بر فعالان بخش کشاورزی، به‌ویژه رانندگان تراکتور و سایر ماشین‌های کشاورزی، از سالیان دور مورد توجه بوده و امروزه نیز همچنان ابعاد مختلف آن در دست بررسی است. با توجه به اینکه سروصدا بر کارایی ذهن، تمرکز، دقت و زمان واکنش افراد مؤثر است و درنهایت موجب پایین آمدن بهره‌وری افراد می‌شود؛ لذا هدف از این تحقیق از یک سو ارزیابی میزان آزدگی صوتی است که رانندگان تراکتور با آن مواجه‌اند و از سوی دیگر بررسی تأثیرات آن بر فعالیت مغز آنان حین فعالیت شغلی است.

## روش کار

روش انجام این تحقیق از نوع توصیفی تحلیلی است و گردآوری داده‌ها به صورت میدانی انجام شده است. تحقیق حاضر، از لحاظ استفاده از نتایج نیز کاربردی است. مراحل اجرای تحقیق شامل سه مرحله تعیین آزدگی روان - آکوستیک، ثبت سیگنال‌های مغزی و آنالیز همبستگی است.

### معیارهای کیفیت صدا

آزمایش‌ها نشان داده است که ترازهای فشار صدای یکسان در فرکانس‌های مختلف به یک اندازه درک نمی‌شوند. به همین دلیل علاوه بر تراز فشار صدا، نحوه درک شنوایی آن نیز در فرکانس مربوطه اهمیت دارد. در این حالت یک مشخصه درک صدا، به نام بلندی صدا تعریف می‌شود. بلندی صدا برابر تراز فشار صدا نیست. فقط در فرکانس یک کیلوهرتز، تراز فشار صدا با تراز بلندی صدا برابر است. بلندی صدایی با تراز فشار صوت ۴۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز برابر یک سون (Sone) است.

تیزی صدا، حسی شنیداری مربوط به فرکانس بوده که باعث ایجاد احساس دردناکی می‌شود و در واقع میزان انرژی فرکانس بالا به کل انرژی است. به‌طور کلی وجود فرکانس‌های بالاتر در سیگنال منجر به افزایش تیزی صدا خواهد شد. تیزی صدایی با تراز فشار صوت ۶۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز برابر یک آکوم (Acum) است.

زبری صدا، حسی شنیداری است که مربوط به مدولاسیون صدا در فرکانس‌های بسیار بالا همانند فرکانس‌های مدولاسیون ۳۰۰-۱۵ هرتز است. بیشترین مقدار زبری نیز در فرکانس ۷۰ هرتز حاصل می‌شود. زبری صدایی با تراز فشار صوت ۶۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز و فرکانس مدولاسیون دامنه ۷۰ هرتز برابر یک اسپر (Asper) است.

معیارهای کیفی مختلفی در مقوله آزدگی صوتی وجود دارد که از میان مهم‌ترین آنها می‌توان به بلندی (Loudness)، تیزی (Sharpness)، زبری (Roughness) و قدرت نوسان (Fluctuation Strength) صدا اشاره کرد [۵].

طی سالیان اخیر، تحقیقات فراوانی در خصوص یافتن مدل آزدگی صوتی انجام شده است. در این تحقیقات با استفاده از آزمون ژوری (Jury Test) و تحلیل رگرسیونی، مدل‌هایی نیز پیشنهاد شده‌اند. اما در سال ۱۹۹۷ مدلی به نام آزدگی روان-آکوستیک (Psychoacoustic Annoyance) معرفی شد [۶]. مطالعات متعددی در زمینه تأثیر پارامترهای کیفیت صدا بر عملکرد افراد در خودرو سواری، قطار، ماشین‌های کشاورزی، ماشین‌های راه‌سازی، کشتی و هواپیما انجام گرفته است [۱۲-۷].

به این ترتیب می‌توان دریافت که مبحث کیفیت صدا و آزدگی صوتی همچنان در کانون توجه محققان است. از سوی دیگر نیز امروزه مقوله کیفیت صدای محصول از نگاه مصرف‌کنندگان حائز اهمیت بوده و معیاری برای ارزش‌گذاری محصول به شمار می‌آید [۱۳]. بنابراین تولیدکنندگان نیز علاوه بر کمیت صدا باید کیفیت صدا را نیز در طراحی محصولات مدنظر قرار دهند.

یکی دیگر از موضوعات مهمی که طی سالیان اخیر، توجه محققان علم ارگونومی را جلب کرده است، ارزیابی تغییرات فیزیولوژیکی افراد در شرایط محیطی کار است. به‌منظور درک مستقیم حالات رانندگان از روش‌های مختلفی همچون بررسی فعالیت الکتریکی عضلات (Electromyogram (EMG))، فعالیت الکتریکی چشم (Electrooculogram (EOG))، فعالیت الکتریکی قلب (Electrocardiogram (ECG))، فعالیت الکتریکی مغز (Electroencephalogram (EEG)) و غیره استفاده شده است [۱۴، ۱۵]. این روش‌ها که براساس اندازه‌گیری سیگنال‌های بیولوژیکی استوارند از سوی محققان برای تشخیص خستگی [۱۶]، خواب‌آلودگی [۱۷]، استرس [۱۴] و ... به کار گرفته شده‌اند.

در میان روش‌های مختلف ثبت سیگنال‌های بیولوژیکی، روش EEG یکی از روش‌های پرکاربرد و قابل اعتماد به شمار می‌آید؛ زیرا در این روش، فعالیت مغز انسان به‌طور مستقیم ارزیابی می‌شود [۱۶، ۱۸، ۱۹]. معمولاً هر نوار EEG به پنج باند فرکانسی تقسیم می‌شود که هر باند مربوط به فعالیت ویژه‌ای از مغز است. این باندها عبارت‌اند از:  $\delta$  (0.5-4 Hz, Theta ( $\theta$ ) 4-8 Hz, alpha ( $\alpha$ ) 8-12 Hz, beta ( $\beta$ ) 12-30 Hz and gamma ( $\gamma$ ) 30-50 Hz. تأثیر صدا بر فعالیت مغز انسان نیز برای محققان جالب توجه بوده است. تحقیقات نشان داده که قرارگیری انسان در معرض آهنگ‌های خوشایند و ناخوشایند، به ترتیب در نواحی چپ و راست مغز تأثیرگذار است [۲۱]. همچنین محیط کاری پرسروصدا به‌عنوان عامل ایجاد استرس می‌تواند تغییراتی در حالت تشخیصی انسان و در نتیجه سیگنال‌های مغزی ایجاد کند [۲۲]. در واقع، سروصدا باعث فعالیت سریع مغز می‌شود و تأثیر آن در باندهای مختلف نوار مغز مشاهده می‌شود.

که در این رابطه،  $N_5$  صدک پنجم مقادیر بلندی صدا است و  $\omega_S$  (ضریب مربوط به تیزی) و  $\omega_{FR}$  (ضریب مربوط به زبری و قدرت نوسان) نیز به ترتیب از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند:

(۲)

$$\omega_S = (S - 1.75) 0.25 \log(N_5 + 10) \text{ for } S > 1.75 \text{ acum}$$

$$\omega_S = 0 \text{ for } S < 1.75 \text{ acum}$$

که در این رابطه،  $S$  تیزی صدا برحسب اکوم است.

$$\omega_{FR} = \frac{2.18}{(N_5)^{0.4}} (0.4F + 0.6R) \quad (۳)$$

که در این رابطه،  $F$  و  $R$  به ترتیب قدرت نوسان (برحسب واسیل) و زبری (برحسب اسپر) صدا هستند.

### تجهیزات آزمایش

در این تحقیق، صدای تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ ضبط و اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در چهار دور موتور انجام شدند. اندازه‌گیری سیگنال‌های صدا در موقعیت گوش راننده انجام گرفت. برای این منظور، میکروفن روی سه پایه در ارتفاعی متناسب با موقعیت گوش راننده و در حالت افقی قرار داده شدند. شکل ۱ موقعیت میکروفن را نشان می‌دهد.



قدرت نوسان صدا، حسی شبیه به زبری صدا است؛ با این تفاوت که قدرت نوسان مربوط به مدولاسیون صدا در فرکانس‌های پایین یعنی فرکانس‌های مدولاسیون تا ۲۰ هرتز است. بیشترین مقدار قدرت نوسان نیز در فرکانس ۴ هرتز حاصل می‌شود. قدرت نوسان صدایی با تراز فشار صوت ۶۰ دسی‌بل در فرکانس یک کیلوهرتز و فرکانس مدولاسیون دامنه ۴ هرتز برابر یک واسیل (Vacil) است.

روابط محاسباتی هریک از چهار معیار کیفیت صدا در سایر تحقیقات ارائه شده که خواننده می‌تواند به آنها مراجعه کند [۵]. براساس این روابط، نرم‌افزارهای تخصصی به منظور محاسبه معیارهای مورد اشاره، طراحی و ارائه شده است. در این تحقیق از محیط نرم‌افزار LabView برای این منظور استفاده شده است.

### آزدگی روان - آکوستیک

در این تحقیق از مدل آزدگی روان - آکوستیک، به منظور ارزیابی میزان آزدگی رانندگان تراکتور استفاده شده است. همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، این مدل تابعی از هر چهار پارامتر کیفیت صدا است و مقدار آن از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$PA = N_5 \left( 1 + \sqrt{\omega_S^2 + \omega_{FR}^2} \right) \quad (۱)$$



شکل ۱. ثبت EEG در وضعیت پیش از رانندگی (راست) و در وضعیت رانندگی و ضبط صدا توسط میکروفن در موقعیت گوش راننده (چپ)

پس از ثبت داده‌ها ضروری است تمام آرتیفکت‌های مزاحم اثرگذار همانند پلک‌زدن، حرکت کره چشم، عضلات صورت، حرکت الکترودها روی پوست سر و نویز ۵۰ هرتز حذف شود. ابتدا بهترین قسمت از سیگنال‌ها که کمترین اثر عوامل مزاحم ذکر شده موجود بوده، انتخاب و سیگنال‌ها به قطعات ۱۰ ثانیه تبدیل شدند. در اولین گام پردازش سیگنال که از طریق نرم‌افزار متلب R2016 انجام گرفت، فرکانس مزاحم ۵۰ هرتز حذف شد. این فرکانس که به دلیل عبور تراکتور از کنار خطوط برق ایجاد شده بود، به وسیله فیلتر دیجیتالی Notch حذف شد.

برای حذف سایر آرتیفکت‌ها که عموماً دارای فرکانس‌های پایین هستند از تبدیل ویولت گسسته (Discrete Wavelet) استفاده شد. برای این منظور، هر سیگنال توسط تابع ویولت دابوچی db8 به هشت مرحله تجزیه شد. حاصل این تجزیه، هشت سیگنال جزئیات (D1 (500-250) Details) است.

در این تحقیق تجهیزاتی که برای اندازه‌گیری صدای تراکتور به کار رفتند، عبارت بودند از: میکروفن اندازه‌گیری مدل MP201، پیش‌تقویت‌کننده مدل MA231، سامانه جمع‌آوری اطلاعات مدل MC3022 و کالیبراتور مدل CA111 که تمامی آنها ساخت شرکت BSWA بودند.

به منظور ثبت EEG، پنج راننده تراکتور با میانگین سنی ۲۸ سال انتخاب شدند. ابتدا نوار مغزی هریک از آنها در اتاقی ساکت و در وضعیت پیش از رانندگی (Pre-Driving) ثبت شد. پس از آن هنگام رانندگی با تراکتور و در چهار دور مختلف نیز نوار مغزی آنها ثبت شد. در هریک از مراحل، از هشت کانال P4، FP1، FP2، T3، F3، F4، T4، P3 و P4 به مدت ۱۸۰ ثانیه داده ذخیره شد. برای ثبت نوار مغزی از دستگاه eWave8D با نرخ نمونه‌برداری 1 Ks/s و رزولوشن ۲۴ بیتی و کلاه استاندارد ۲۰-۱۰ ساخت شرکت Science Beam استفاده شد.

۵درصد مقایسه شدند. سپس میزان همبستگی میان آزردهی روان - آکوستیک و باندهای آلفا و بتا تعیین شد.

### یافته‌ها

اثر تغییر دور موتور بر معیارهای کیفیت صدای ماشین مورد آزمون در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزردهی سایکواکوستیک که در بخش مواد و روش‌ها مورد اشاره قرار گرفت، در تعدادی از تحقیقات برای ارزیابی آزردهی برخی از تجهیزات استفاده شده است [۲۳، ۲۴]. از این رابطه معمولاً برای مقایسه میزان آزردهی بین دستگاه‌های مختلف و یا تشخیص روند تغییرات در یک دستگاه استفاده می‌شود. نتایج حاصل از آزردهی سایکواکوستیک در جدول ۲ ارائه شده است.

دامنه باندهای آلفا و بتا در سرعت‌های مختلف که از طریق کانال‌های هشت‌گانه مربوط به هر یک از رانندگان به ثبت رسیده در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

D2 (250-125)، D3 (125-62.5)، D4 (62.5-31.25)، D5 (31.25-15.625)، D6 (15.625-7.8125)، D7 (7.8125-3.90625)، D8 (3.90625-1.953125) و یک سیگنال تقریب A8 (Approximation) است. طبق تجزیه باند فرکانسی، تقریب مرحله هشتم حاوی محتویات فرکانسی زیر ۱/۵ هرتز است که این تقریب همان آرتیفکت است. در شکل ۳ تجزیه سیگنال به زیرباند و شکل موج مربوطه نشان داده شده است. پس از حذف A8، سیگنال طبق رابطه (۴) مجدداً بازسازی شد.

(۴)

$$S = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_7 + D_8$$

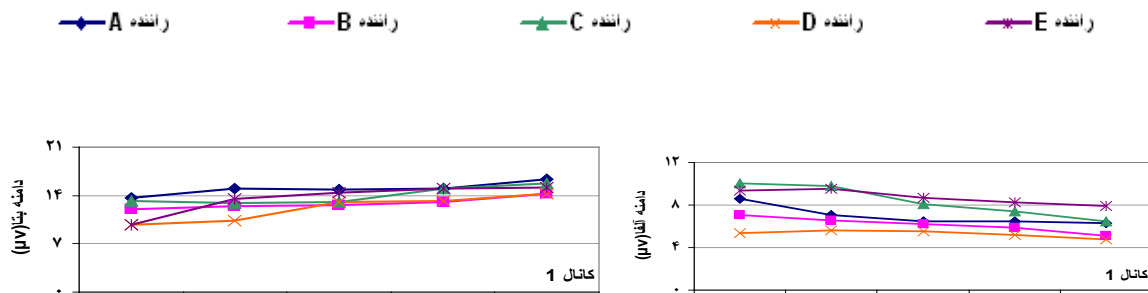
پس از حذف آرتیفکت‌ها، سیگنال‌ها با استفاده از آنالیز فوریه به باندهای فرکانسی تتا (۴-۸ هرتز)، آلفا (۸-۱۳ هرتز)، بتا (۱۳-۳۰ هرتز) و گاما (۳۰-۵۰ هرتز) تجزیه شدند. پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، به کمک نرم‌افزار SPSS ویرایش ۱۷ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و آزمون‌های مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف دور موتور از طریق آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن در سطح احتمال

جدول ۱. مقادیر معیارهای کیفیت صدا در دوره‌های مختلف

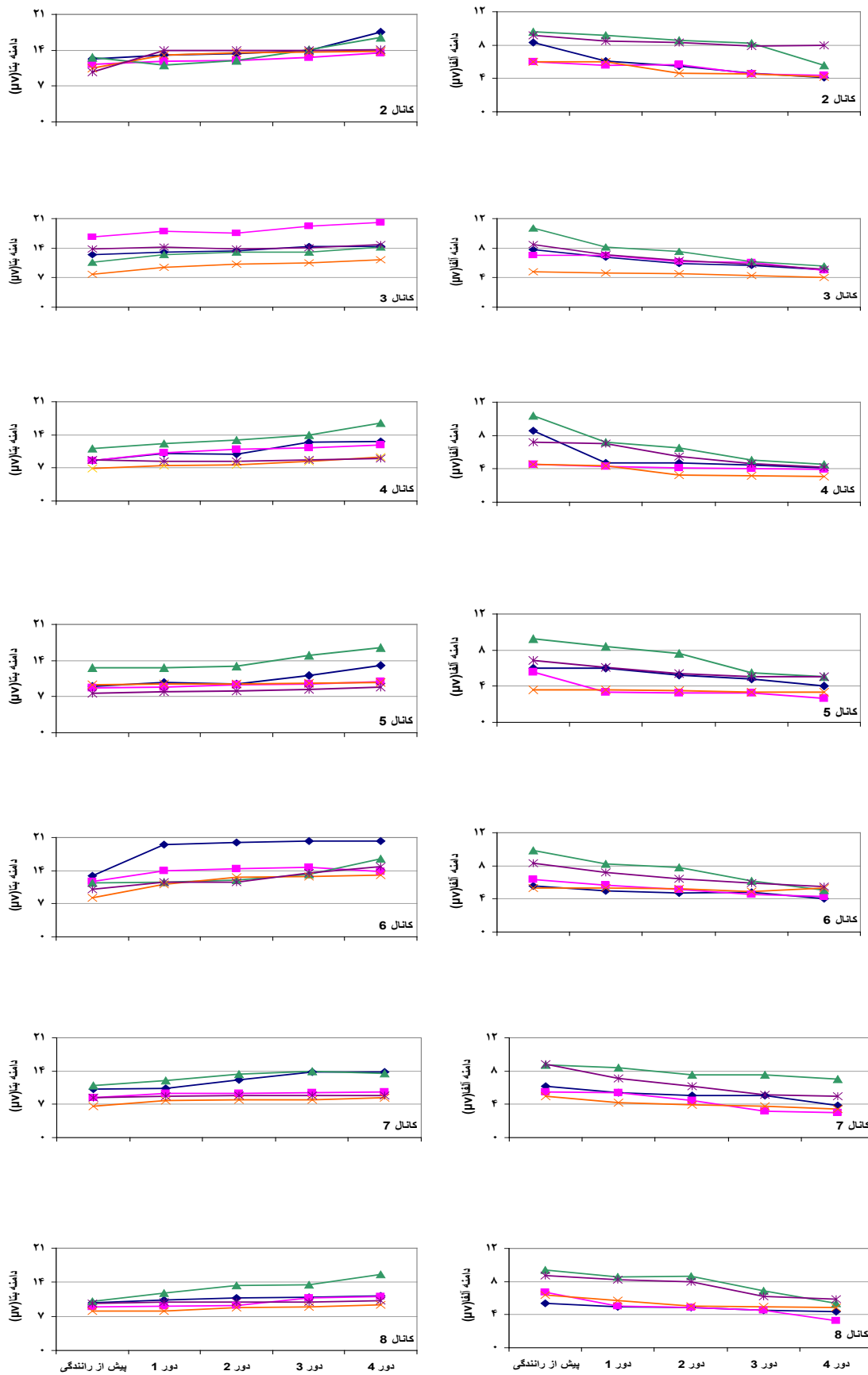
بلندی	تیزی	زبری	قدرت نوسان	دور
۴/۴۷	۱/۹۵	۰/۰۸	۰/۱۲	دور ۱
۵/۶۳	۱/۹۹	۰/۱۲	۰/۱۱	دور ۲
۶/۹۷	۱/۹۹	۰/۱۱	۰/۰۹	دور ۳
۸/۸۹	۲/۰۵	۰/۱۷	۰/۱۶	دور ۴

جدول ۲. روند تغییرات آزردهی روان - آکوستیک در دوره‌های مختلف

آزردهی روان - آکوستیک	دور ۱	دور ۲	دور ۳	دور ۴
۵/۶۱ <sup>d</sup>	۷/۰۶ <sup>c</sup>	۸/۵۶ <sup>b</sup>	۱۱/۳۸ <sup>a</sup>	



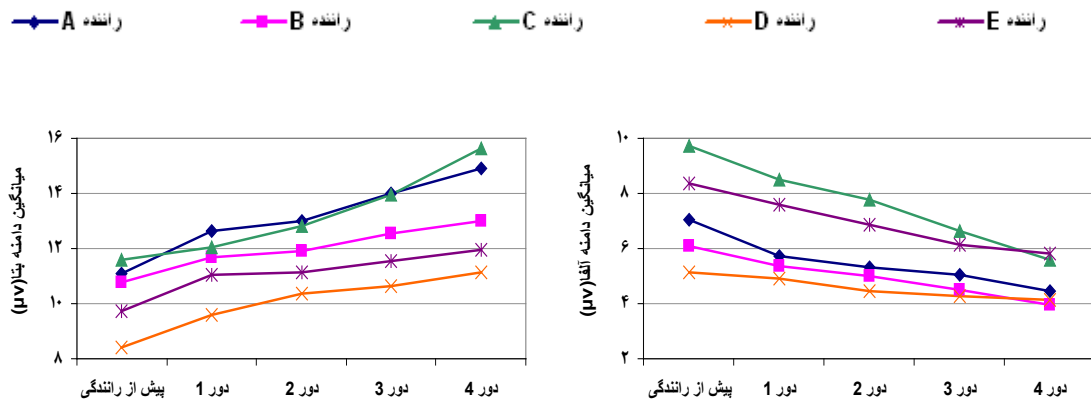




شکل ۲. روند تغییرات باندهای آلفا و بتا برای رانندگان مختلف

کاهش نیز به میزان ۱۱/۹ درصد مربوط به راننده D است. در خصوص باند بتا، بیشترین و کمترین درصد افزایش به میزان ۴۴/۹ و ۲۲/۴ درصد به ترتیب برای راننده C و E به ثبت رسیده است

به منظور بررسی دقیق تر روند تغییرات، میانگین دامنه هشت کانال به طور مجزا برای دو باند آلفا و بتا در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین درصد کاهش دامنه باند آلفا به میزان ۴۵/۷ درصد مربوط به راننده C و کمترین درصد

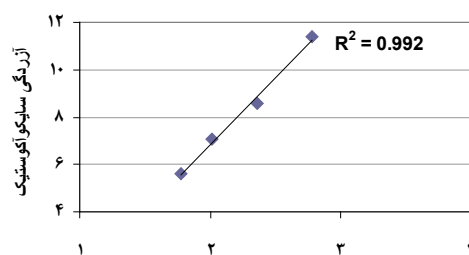
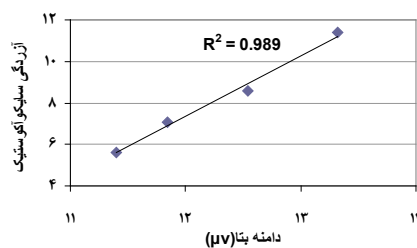
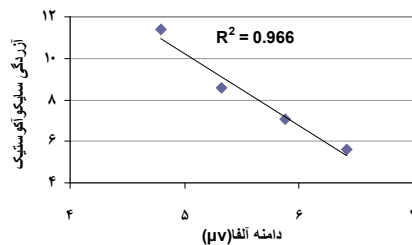


شکل ۳. میانگین تغییرات باندهای آلفا و بتا

به تنهایی، الگوریتم‌های نسبی متفاوتی نیز برای بررسی وضعیت فعالیت مغزی افراد پیشنهاد شده است [۱۹، ۲۵، ۲۶]. در این تحقیق نیز الگوریتم  $\alpha/\beta$  مورد استفاده قرار گرفت که نتایج حاصل از رگرسیون میان آزردهی روان - آکوستیک و الگوریتم  $\alpha/\beta$  نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.

به منظور بررسی دقیق تر ارتباط میان صدا و فعالیت مغزی افراد تحت آزمون، رگرسیون میان آزردهی روان - آکوستیک و باندهای آلفا و بتا به طور مجزا انجام گرفته و نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

در برخی از تحقیقات، علاوه بر ارزیابی هریک از باندها



شکل ۴. همبستگی بین آزردهی روان - آکوستیک و باند آلفا (بالا - راست)، باند بتا (بالا - چپ) و نسبت بتا به آلفا (پایین)

## بحث و نتیجه‌گیری

باند‌های آلفا و بتا در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است [۲۲]. این موضوع بیانگر آن است که سروصدا می‌تواند باعث بروز استرس در افراد شود. در واقع یکی از راه‌های تشخیص استرس از طریق سیگنال‌های مغزی، بالابودن دامنه باند بتا و پایین‌بودن دامنه باند آلفا است [۱۵].

از سوی دیگر، از تغییرات در باند‌های آلفا و بتا، می‌توان برای تشخیص خواب‌آلودگی و خستگی بهره گرفت [۲۸]. تحقیقات انجام‌گرفته در این خصوص نشان داد که کاهش دامنه بتا و افزایش دامنه آلفا، نشانه‌ای از بروز خواب‌آلودگی است [۲۵، ۲۹]. با نگاهی به نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌توان چنین استنباط کرد که وجود سروصدا می‌تواند مانع خواب‌آلودگی کاربران شده و تمرکز آنها را بر فعالیتشان افزایش دهد.

همان‌گونه که از شکل ۴ مشخص است، همبستگی بالایی بین دو باند آلفا و بتا و آزدگی روان - آکوستیک به چشم می‌خورد؛ هرچند الگوریتم  $\alpha/\beta$  همبستگی بهتری با آزدگی روان - آکوستیک دارد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آزدگی روان - آکوستیک شاخص خوبی برای ارزیابی فعالیت مغزی به شمار می‌آید. در واقع با افزایش میزان آزدگی روان - آکوستیک، میزان خواب‌آلودگی کاربران کاهش یافته و افزایش تمرکز آنان دور از انتظار نخواهد بود.

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که مدل آزدگی روان - آکوستیک همبستگی بالایی با الگوریتم نسبی بتا به آلفا دارد. از آنجایی که ثبت و تحلیل سیگنال‌های مغزی هزینه‌بر و زمان‌بر هستند، می‌توان از آزدگی روان - آکوستیک به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی فعالیت مغزی کاربران بهره گرفت. با توجه به اینکه سنجش حالات افراد هنگام رانندگی بسیار بااهمیت بوده و تشخیص زودهنگام و دقیق مواردی همچون خستگی و خواب‌آلودگی در پیشگیری از حوادث مؤثر است، به نظر می‌رسد می‌توان از مقوله کیفیت صدا در این خصوص بهره‌مند شد. لذا پرداختن به مقوله کیفیت صدا در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

## سپاسگزاری

به این وسیله از کلیه کسانی که در انجام مراحل این پژوهش یاری‌گر ما بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

از جدول ۱ مشاهده می‌شود با افزایش دور موتور، مقادیر بلندی و تیزی صدا افزایش یافته‌اند. اما در خصوص دو معیار دیگر روند مشخصی به چشم نمی‌خورد. به‌طور کلی با افزایش دور موتور، سرعت حرکت ماشین افزایش یافته و در نتیجه سروصدای ناشی از حرکت سریع‌تر لاستیک‌ها روی مسیر آزمون و همچنین حرکات ارتعاشی قطعات و اجزای مختلف بیشتر می‌شود. بنابراین تغییرات مقادیر معیارهای کیفیت صدا با تغییر دور موتور منطقی به نظر می‌رسد که با نتایج تحقیقات دیگر مطابقت دارد [۲۷]. با توجه به اینکه مدل آزدگی سایکواکوستیک براساس این معیارها شکل می‌گیرد، مواجهه با تغییرات میزان آزدگی سایکواکوستیک در ماشین مذکور در اثر تغییر دور موتور دور از انتظار نخواهد بود.

با نگاهی به جدول ۲ می‌توان سیر صعودی مقادیر آزدگی سایکواکوستیک در ازای افزایش دور موتور را دریافت کرد. نتایج آنالیز واریانس حاکی از تفاوت معنی‌دار سطوح مختلف دور موتور بر آزدگی سایکواکوستیک در سطح احتمال ۵ درصد است. مقایسه میانگین در سطح احتمال ۵ درصد نیز نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین مقادیر آزدگی است.

در خصوص شکل ۲، اگرچه نرخ تغییرات در خصوص هریک از کانال‌ها و همچنین رانندگان متفاوت است، اما آنچه از روند کلی نمودارها مشاهده می‌شود، کاهش دامنه باند آلفا و همچنین افزایش دامنه باند بتا در اثر افزایش دور موتور است. از آنجایی که افزایش دور موتور با افزایش مقدار آزدگی روان - آکوستیک همراه بوده، لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تغییرات در پارامترهای کیفی صدای تولیدشده و در نتیجه میزان آزدگی ناشی از آن، باعث ایجاد تغییرات دامنه در هر دو باند آلفا و بتا شده است.

تحقیقات نشان داده که باند آلفا و بتا به ترتیب با وضعیت استرس و فعالیت سریع مغز همچون تصمیم‌گیری، تحلیل و پردازش اطلاعات مرتبط هستند [۲۲]. مقادیر زیاد باند آلفا و مقادیر کم باند بتا در وضعیت پیش از رانندگی در نمودارهای شکل ۲ و ۳ بیانگر این است که افراد تحت آزمون، در شرایط بدون استرس و به‌صورت آرام و آسوده قرار گرفته‌اند. اما پس از قرارگیری افراد در محیط کاری پرسروصدا، باند آلفا و بتا به ترتیب با کاهش و افزایش دامنه همراه بوده که موجب افزایش فعالیت مغزی شده و تمرکز و هوشیاری بیشتر رانندگان را به دنبال داشته است. تأثیر مشابه سروصدا بر



## Reference

1. Gorai AK, Pal AK. Noise and its effect on human being-A review. *Journal of Environmental Science and Engineering*. 2006 Oct;48(4):253.
2. Freitas E, Mendonça C, Santos JA, Murteira C, Ferreira JP. Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2012 Jun 1;17(4):321-6. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.02.001>
3. Fujii K, Atagi J, Ando Y. Temporal and spatial factors of traffic noise and its annoyance. *Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment*. 2002;2(1):33-41.
4. Allen P. *Acoustics and psychoacoustics. Audiology Diagnosis*. 1st edition. New York: Thieme Medical Publisher Inc. 2000:80-153.
5. Zwicker E, Fastl H. *Psychoacoustics: Facts and models*. Springer Science & Business Media; 2013.
6. Zwicker E, Fastl H. *Psychoacoustics: Facts and models*. Berlin: Springer-Verlag; 1997.
7. Nor MJ, Fouladi MH, Nahvi H, Ariffin AK. Index for vehicle acoustical comfort inside a passenger car. *Applied Acoustics*. 2008 Apr 1;69(4):343-53.
8. Park B, Jeon JY, Choi S, Park J. Short-term noise annoyance assessment in passenger compartments of high-speed trains under sudden variation. *Applied Acoustics*. 2015 Oct 1;97:46-53. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.04.007>
9. Lashgari M, Maleki A. Evaluation of lawn tractor noise using acoustic and psychoacoustic descriptors. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2016 Jan 1;9(1):116-22.
10. Brambilla G, Carletti E, Pedrielli F. Perspective of the sound quality approach applied to noise control in earth moving machines. *IJAV*. 2001 Jun;6(2):90-6. <https://doi.org/10.20855/ijav.2001.6.279>
11. Han HS. Psycho-acoustic evaluation of the indoor noise in cabins of a naval vessel using a back-propagation neural network algorithm. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2012 Dec 1;4(4):374-85. <https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0104>
12. Janssens K, Vecchio A, Van der Auweraer H. Synthesis and sound quality evaluation of exterior and interior aircraft noise. *Aerospace Science and Technology*. 2008 Jan 1;12(1):114-24. <https://doi.org/10.1016/j.ašt.2007.10.002>
13. Cho P, Karavadi A. Sound Quality Target Development Process for Agricultural and Construction Machinery. SAE Technical Paper; 1999 .
14. Chen LL, Zhao Y, Ye PF, Zhang J, Zou JZ. Detecting driving stress in physiological signals based on multimodal feature analysis and kernel classifiers. *Expert Systems with Applications*. 2017 Nov 1;85:279-91. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.040>
15. Sulaiman N, Taib MN, Lias S, Murat ZH, Aris SA, Hamid NH. Novel methods for stress features identification using EEG signals. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*. 2011 Feb 1;12(1):27-33.
16. Li W, He QC, Fan XM, Fei ZM. Evaluation of driver fatigue on two channels of EEG data. *Neuroscience letters*. 2012 Jan 11;506(2):235-9. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.11.014>
17. Borghini G, Astolfi L, Vecchiato G, Mattia D, Babiloni F. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2014 Jul 1;44:58-75. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.10.003>
18. Liu J, Zhang C, Zheng C. EEG-based estimation of mental fatigue by using KPCA-HMM and complexity parameters. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2010 Apr 1;5(2):124-30. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2010.01.001>
19. Chen C, Li K, Wu Q, Wang H, Qian Z, Sudlow G. EEG-based detection and evaluation of fatigue caused by watching 3DTV. *Displays*. 2013 Apr 1;34(2):81-8. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2013.01.002>
20. Lee YJ, Shin TJ, Lee SK. Sound quality analysis of a passenger car based on electroencephalography. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2013 Feb 1;27(2):319-25. <https://doi.org/10.1007/s12206-012-1248-z>
21. Banerjee A, Sanyal S, Patranabis A, Banerjee K, Guhathakurta T, Sengupta R, et al. Study on brain

- dynamics by non linear analysis of music induced EEG signals. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2016 Feb 15;444:110-20.
22. Bhoria R, Gupta S. A Study of the effect of sound on EEG. *International journal of electronics and computer science engineering*. 2012 Dec;2(1):88-99.
23. Park SG, Park JT, Seo KW, Lee GB. Comparison of the Sound Quality Characteristics for the Outdoor Unit according to the Compressor Model.
24. Nielsen T, Nielsen TV, Johansen P, Hasenkam JM, Nygaard H. Psychoacoustic quantification of mechanical heart valve noise. *J Heart Valve Dis*. 2005 Jan 1;14(1):89-95.
25. Jap BT, Lal S, Fischer P, Bekiaris E. Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Systems with Applications*. 2009 Mar 1;36(2):2352-9. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.12.043>
26. Eoh HJ, Chung MK, Kim SH. Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2005 Apr 1;35(4):307-20. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.09.006>
27. Junoh AK, Muhamad WZ, Fouladi M. A Study on the effects of tyre vibration to the noise in passenger car cabin. *Advanced Modeling and Optimization*. 2011;13(3):567-81.
28. Yeo MV, Li X, Shen K, Wilder-Smith EP. Can SVM be used for automatic EEG detection of drowsiness during car driving?. *Safety Science*. 2009 Jan 1;47(1):115-24. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.01.007>
29. Rasmussen P, Stie H, Nybo L, Nielsen B. Heat induced fatigue and changes of the EEG is not related to reduced perfusion of the brain during prolonged exercise in humans. *Journal of Thermal Biology*. 2004 Oct 1;29(7-8):731-7. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.047>