

## Correlation Brain Signals and Tractor Sound Signals Based on Fractal Analysis

Majid Lashgari<sup>1\*</sup> , Mohammadreza Arab<sup>2</sup>, Mohsen Nadjafi<sup>3</sup>, Ali Maleki<sup>4</sup>

1. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Arak University, Arak, Iran
2. PhD, Department of Medical Engineering, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran
3. Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran
4. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

### Article Info

Received: 2021/01/25;

Accepted: 2021/08/22;

ePublished: 2021/09/21

 [10.30699/jergon.9.2.69](https://doi.org/10.30699/jergon.9.2.69)

Use your device to scan  
and read the article online



### Corresponding Author

**Majid Lashgari**

Associate Professor, Department  
of Biosystems Engineering, Arak  
University, Arak, Iran

**Email:**

[m-lashgari@araku.ac.ir](mailto:m-lashgari@araku.ac.ir)

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Due to the sound caused by various machines and tools in different agriculture sectors, occupational safety and health should be continuously evaluated. Indeed, the harmful effects of sound can be better reduced when the effects of sound on people's health and performance are fully known.

**Methods:** In this study, a garden tractor was used. Sixteen volunteers were exposed to the sound of the tractor, and their EEG was recorded at four different engine speeds. Then, Higuchi and Katz methods were used to calculate the fractal dimension of sound signals as well as brain signals.

**Results:** The results showed that by increasing engine speed, the values of the fractal dimension in both Higuchi and Katz methods increased. The results also showed an increase in the fractal dimension of brain signals due to an increase in engine speed. The regression results also showed a high correlation between the two brain signals and the sound. The coefficient of explanation was 0.896 and 0.859 in Higuchi and Katz methods, respectively.

**Conclusion:** This study showed that people's reactions, when exposed to sound, can be predicted using the fractal dimension. Therefore, it is possible to estimate the characteristics of brain signals without recording them, which are often costly and time-consuming.

**Keywords:** EEG, Higuchi, Katz, Tractor, Sound



Copyright © 2021, This is an original open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) International License which permits copy and redistribute of the material just in noncommercial usages with proper citation.

### How to Cite This Article:

Lashgari M, Arab M, Nadjafi M, Maleki A. Correlation Brain Signals and Tractor Sound Signals Based on Fractal Analysis. Iran J Ergon. 2021; 9(2):69-81

## Extended Abstract

### Introduction

Due to the sound caused by various machines and tools in different agriculture sectors, occupational safety and health should be continuously evaluated. Among the most important adverse effects of sound on humans, in addition to permanent and temporary hearing loss, we can mention such things as reduced work efficiency and increased risk of accidents, sleep disorders, neurological and mental disorders and cardiovascular disease [4-9]. This phenomenon has also had detrimental effects on agricultural activists [10]. Indeed, the harmful effects of sound can be better reduced when the effects of sound on people's health and performance are fully known.

Given that a group of agricultural activists who deal with a variety of machinery are directly exposed to sound, it is absolutely necessary to be aware of the effects of sound on this occupational group. Although studies have been conducted on the relationship between the fractal dimension of external stimuli and the types of human biological signals, according to the research, no studies have been conducted on this topic in the country, especially in the agricultural sector, or to be more precise, no results have been published. Consid-

ering that tractors are used in most agricultural affairs and most of the common tractors in the country do not have cabins, the aim of this study was to investigate the relationship between sound as an external stimulus that most tractor drivers are exposed to and their reaction during work with Use brain activity assessment.

### Methods

In this study, a garden tractor was used. Sixteen volunteers were exposed to the sound of the tractor, and their EEG was recorded at four different engine speeds. Then, Higuchi and Katz methods were used to calculate the fractal dimension of sound signals as well as brain signals.

### Results

The results showed that by increasing engine speed, the values of the fractal dimension in both Higuchi and Katz methods increased. The results also showed an increase in the fractal dimension of brain signals due to an increase in engine speed. The regression results also showed a high correlation between the two brain signals and the sound. The coefficient of explanation was 0.896 and 0.859 in Higuchi and Katz methods, respectively.

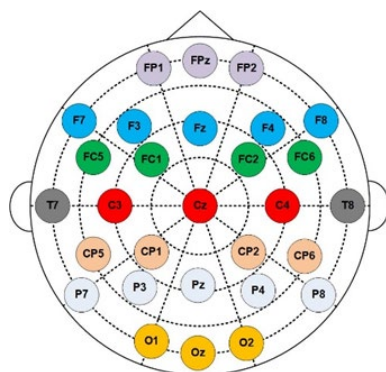


Figure 1. EEG recording using a standard cap 10-20 (right) and the position of the electrodes on the head (left)

### Discussion

The results of this study indicate that the fractal dimension of tractor sound signals increases with increasing engine speed, and this increase can be seen in both Katz and Higuchi methods. In general, with increasing engine speed, the speed of move-

ment of engine parts and components increases on the one hand, and on the other hand, the vibrational movements of other tractor components increase. For this reason, in various studies, an increase in sound pressure level has been reported in exchange

for an increase in engine speed [37, 36]. Given that increasing the sound pressure level is associated with more irregularity of the sound signal, increasing the fractal dimension of the sound signal seems reasonable [26].

Given that the volunteers participating in this study were only exposed to motor noise, changes in the fractal dimension of brain signals can be attributed to changes in sound. The effect of sound on human brain activity has also been reported in other studies. Research has shown that human exposure to pleasant and unpleasant tones in different areas of the brain is effective [38]. Noisy work environment can also cause changes in brain signals [39]. As mentioned earlier, the purpose of this study is to investigate the relationship between voice and brain response in individuals. For this purpose, regression was performed between the fractal dimension of brain signals and sound. Although a strong and significant correlation was observed between HFD brain signals and sound, no such conclusion was reached for KFD. This indicates that the method of determining the fractal dimension is important that in other researches, different results of the methods of determining the fractal dimension have been mentioned [41, 40]. However, the high accuracy of Higuchi method in estimating the fractal dimension compared to other methods such as Katz has been confirmed in other researches [32].

The existence of a correlation between the fractal dimension of external stimuli and the reaction of people who are exposed to those stimuli has also been mentioned in some studies [42, 30]. As the results of this study show, with the increase in the fractal dimension of the Higuchi sound as an external stimulus, the fractal dimension of the brain signal also increased. In fact, increasing the complexity of sound has increased the complexity of brain signals, which is consistent with the results of other research [30]. After confirming the existence of a strong correlation between the variables, perhaps the most important thing to look for is to find an equation that shows this relationship mathematically. Different models have been used in research, but due to the high predictability of fractal-based

models, these models are superior to other mathematical models [30]. In order to obtain a simple linear model with the least number of variables, regression between the fractal dimension of Higuchi sound signals and brain signals was performed separately in each band. According to the results, the two alpha and beta bands had the greatest effect in this regard. The influence of alpha and beta bands on external stimuli has also been expressed in other studies [43, 39]. Changes in alpha and beta bands are considered as a criterion for diagnosing drowsiness, fatigue, stress, etc. [45, 44].

Although according to Equation 8, 98.3% of the sound changes can be explained by the two variables alpha and beta, a more accurate answer was obtained using the three variables alpha, beta and theta, which had the highest correlation. Using the obtained models, it is possible to study the characteristics of brain signals in response to sound changes. Because the recording of brain signals must be done under certain conditions and will usually be time consuming, we will be able to predict the characteristics of brain signals without recording them by finding the equations governing the relationships of external stimuli and the reaction of individuals during work.

## Conclusion

This study showed that people's reactions, when exposed to sound, can be predicted using the fractal dimension. Therefore, it is possible to estimate the characteristics of brain signals without recording them, which are often costly and time-consuming.

## Acknowledgement

This study was the result of a research project numbered 15001/97, for which we thank the Vice Chancellor for Research and Technology of Arak University. Arak University of Technology is also appreciated for providing some of the test equipment.

## Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

## هم‌بستگی سیگنال‌های مغزی و سیگنال‌های صدای تراکتور مبتنی بر تحلیل فرکتال

مجید لشگری\*<sup>۱</sup>، محمدرضا عرب<sup>۲</sup>، محسن نجفی<sup>۳</sup>، علی ملکی<sup>۴</sup>

۱. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
۲. دکترا، واحد تجهیزات پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی برق مخابرات، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران
۴. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

اطلاعات مقاله	خلاصه
دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۶ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱ انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰	<b>زمینه و هدف:</b> به دلیل وجود صدای ناشی از انواع ماشین‌ها و ادوات در بخش‌های مختلف کشاورزی، ارزیابی مستمر ایمنی و سلامت شغلی افراد شاغل در این بخش کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. بی‌شک با آگاهی کامل از تأثیرات صدا بر سلامت و عملکرد افراد می‌توان آثار زیان‌بار صدا را به نحو مطلوب‌تری کاهش داد.
<b>نویسنده مسئول:</b> مجید لشگری دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران <b>پست الکترونیک:</b> <a href="mailto:m-lashgari@araku.ac.ir">m-lashgari@araku.ac.ir</a>	<b>روش کار:</b> این تحقیق در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه اراک انجام گرفت. در این تحقیق از یک تراکتور باغی مدل گلدونی ۳۴۱ استفاده شد. ۱۶ داوطلب در معرض صدای تراکتور قرار گرفتند و نوار مغزی هریک از آنان در چهار دور مختلف موتور ثبت شد. سپس از دو روش هیگوچی و کاتز برای محاسبه بُعد فرکتال سیگنال‌های صدا و همچنین سیگنال‌های مغزی استفاده شد.
	<b>یافته‌ها:</b> نتایج نشان می‌دهد، با افزایش دور موتور، مقادیر بُعد فرکتال صدا در دو روش هیگوچی و کاتز افزایش داشته‌اند. همچنین نتایج حاکی از افزایش بُعد فرکتال سیگنال‌های مغزی در اثر افزایش دور موتور بود. نتایج رگرسیون نیز نشان می‌دهد که هم‌بستگی بالایی میان دو سیگنال مغزی و صدا وجود دارد؛ به طوری که ضریب تبیین ۰/۸۹۶ و ۰/۸۵۹ به ترتیب در دو روش هیگوچی و کاتز به دست آمد.
	<b>نتیجه گیری:</b> این بررسی نشان می‌دهد که واکنش افراد هنگامی که در معرض صدا قرار دارند، با استفاده از بُعد فرکتال قابل‌پیش‌بینی است؛ بنابراین برآورد خصوصیات سیگنال‌های مغزی بدون ثبت آن‌ها که غالباً هزینه‌بر و زمان‌بر هستند امکان‌پذیر است. به غیر از بُعد فرکتال، شاید به‌ندرت بتوان شاخصی یافت که بین سیگنال‌های مغزی و صدا ارتباط برقرار نماید؛ بنابراین می‌توان واکنش افراد را زمانی که در معرض صدا قرار دارند، با استفاده از بُعد فرکتال پیش‌بینی کرد.
	<b>کلیدواژه‌ها:</b> نوار مغزی، هیگوچی، کاتز، تراکتور، صدا

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.

## مقدمه

بیماری قلبی- عروقی اشاره کرد [۹-۴]. این پدیده اثرات زیانباری نیز بر فعالان بخش کشاورزی داشته است [۱۰]. این افراد در معرض بسیاری از منابع صدا از جمله انواع ماشین‌ها و ادوات کشاورزی قرار دارند که به همین دلیل از سال‌های دور، ابعاد مختلف آن توسط بسیاری از محققان بررسی شده و تا به امروز نیز ادامه دارد [۱۱، ۱۲].

در دهه‌های اخیر، موضوع مهم دیگری که نظر محققان حوزه ارگونومی را به خود جلب کرده است، ارزیابی تغییرات فیزیولوژیکی افراد در شرایط محیطی کار است [۱۳]. به‌منظور

امروزه شاید دیگر نتوان محیط کار و زندگی بدون صدا را تصور کرد و یافتن چنین محیطی را به‌ویژه برای کار، رؤیا به شمار آورد. اگرچه انسان‌ها به وجود صدا در پیرامون خود عادت کرده‌اند، اثرات منفی آن بر سلامت و عملکرد آنان بر کسی پوشیده نیست. تاکنون تحقیقات فراوانی درباره اثرات زیان‌بار صدا بر سلامت جسم و روان انجام شده است [۳-۱]. از مهم‌ترین اثرات نامطلوب صدا بر انسان علاوه بر افت شنوایی دائم و موقت می‌توان به مواردی همچون کاهش بازده کار و افزایش ریسک حوادث، اختلال در خواب، ایجاد ناراحتی‌های عصبی - روانی و

استفاده شده است. در واقع با استفاده از بُعد فرکتال، بهترین بخش‌های سیگنال صدای شش پرنده انتخاب شدند تا بتوان مرحله استخراج ویژگی را که از اهمیت فراوانی در طبقه‌بندی برخوردار است، به انجام رساند [۲۴]. قابلیت بُعد فرکتال در تشخیص عیوب موتور خودرو نیز در تحقیقی دیگر مطالعه شد. نتایج تحقیق مذکور نشان می‌دهد که بُعد فرکتال صدای موتور حاوی اطلاعات مفیدی است که از آن می‌توان برای پیش وضعیت موتور و تشخیص انواع عیوب آن بهره گرفت [۲۵]. همچنین به منظور ارزیابی صدای برخی از ماشین‌های کشاورزی نیز بُعد فرکتال استفاده شده است. در تحقیق مذکور، چهار روش مختلف برای محاسبه بُعد فرکتال انتخاب شد که نتایج نشان می‌دهد روند تغییرات برای چهار روش متفاوت است و دو روش هیگوجی و شمارش جعبه اعتبار بیشتری دارند [۲۶].

افراد در مواجهه با محرک‌های بیرونی از جمله صدا، ارتعاش، نور و غیره واکنش‌هایی نشان می‌دهند که با تحلیل واکنش‌ها می‌توان به تأثیرات مثبت یا منفی محرک‌ها بر انسان و رفتار آن آگاهی یافت. هدف بسیاری از تحقیقاتی که تاکنون انجام شده است، بررسی واکنش مغز به انواع محرک‌های بیرونی بوده است؛ بدون آنکه مدلی در این باره ارائه کنند [۲۷]. به‌طور خاص در مقوله محرک‌های صوتی نیز می‌توان تحقیقاتی را یافت که تنها به بررسی واکنش افراد پرداخته‌اند [۲۸، ۲۹]، اما در واقع یکی از موضوعات مهم در این مقوله، بررسی ارتباط خصوصیات محرک‌های بیرونی و واکنش افراد است. از آنجا که سنجش میزان پیچیدگی سیگنال‌های مغزی و سیگنال‌های صدا با استفاده از بُعد فرکتال امکان‌پذیر است، می‌توان میزان ارتباط و هم‌بستگی این دو سیگنال را از منظر بُعد فرکتال آن‌ها بررسی کرد [۳۰]. به این ترتیب می‌توان با استفاده از روش‌های گوناگون، مدلی ریاضی را ارائه کرد که یک ویژگی واحد از هر دو سیگنال را به هم مرتبط می‌کند.

با توجه به اینکه گروهی از فعالان بخش کشاورزی که با انواع ماشین‌آلات سروکار دارند به‌طور مستقیم در معرض صدا هستند، آگاهی از تأثیرات صدا بر این گروه شغلی کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه مطالعاتی درباره ارتباط بُعد فرکتال محرک‌های بیرونی و انواع سیگنال‌های بیولوژیکی انسانی انجام شده است، براساس جست‌وجو، تاکنون مطالعه‌ای در این باره در داخل کشور و به‌ویژه در بخش کشاورزی انجام نشده یا به عبارت درست‌تر، نتایجی منتشر نشده است. با عنایت به اینکه از تراکتور در بیشتر امور کشاورزی استفاده می‌شود و غالب تراکتورهای

سنجش تغییرات فیزیولوژیکی افراد می‌توان از روش‌های مختلفی بهره گرفت که از جمله آن‌ها فعالیت الکتریکی مغز یا الکتروانسفالوگرافی (EEG) است. به دلیل اینکه در روش EEG، فعالیت مغز انسان به‌طور مستقیم ارزیابی می‌شود و تمامی فعالیت‌های فیزیکی و ذهنی افراد در آن منعکس است، در مقایسه با سایر روش‌ها یکی از پرکاربردترین و مطمئن‌ترین روش‌ها به شمار می‌آید [۱۶-۱۴]. مطالعات متعددی نیز درباره سنجش سیگنال‌های EEG در زمینه‌های مختلف انجام شده است [۱۷، ۱۸].

از آنجا که مغز ساختار دینامیکی غیرخطی دارد، سیگنال‌های مغزی نیز ماهیتی غیرخطی و پیچیده دارند یا به اصطلاح آشوب‌گون هستند [۱۹]؛ بنابراین یکی از مناسب‌ترین راهکارها برای توصیف عملکرد مغز، استفاده از آنالیزهای غیرخطی بر پایه نظریه آشوب (Chaos) است [۲۰]. از جمله مهم‌ترین ویژگی‌ها برای ارزیابی آشوبناکی یک سیگنال، سنجش پیچیدگی (Complexity) با استفاده از بُعد فرکتال (Fractal Dimension) است [۲۱]. زمانی که هندسه فرکتال توسط یک ریاضیدان فرانسوی به نام مندلبرات (Mandelbrot) معرفی شد، توجه بسیاری از محققان به آن جلب شد و از آن برای تفسیر پدیده‌های پیچیده طبیعی در حوزه‌های مختلف علوم و مهندسی بهره گرفتند. در هندسه فرکتالی، پیچیدگی توسط یک عدد به نام بُعد فرکتال بیان می‌شود. برای محاسبه بُعد فرکتال، الگوریتم‌های مختلفی وجود دارند که می‌توان به کاتز (Katz)، هیگوجی (Higuchi)، پتروسین (Petrosian) و شمارش جعبه (Box Counting) اشاره کرد.

به‌منظور استخراج خصوصیات سیگنال‌های صدا می‌توان از تحلیل فرکتالی نیز بهره گرفت. مطالعات متعددی نیز در این باره انجام شده است که برای نمونه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. در تحقیقی به‌منظور طبقه‌بندی سیگنال‌های صدای قلب، از بُعد فرکتال استفاده شد. این تحقیق با هدف دستیابی به حداکثر قابلیت تفکیک‌پذیری صدای قلب افراد سالم و بیمار انجام شد و نتایج آن نشان داد که استفاده از بُعد فرکتال می‌تواند دقت طبقه‌بندی را افزایش دهد [۲۲]. امکان طبقه‌بندی موسیقی با استفاده از بُعد فرکتال نیز مطالعه شده است و نتایج تحقیق آن نشان می‌دهد که بُعد فرکتال به تفکیک بهتر انواع موسیقی کمک می‌کند و برای این منظور بهتر است از بخش‌هایی استفاده شود که در دامنه فرکانسی بالا قرار دارند [۲۳]. از بُعد فرکتال برای طبقه‌بندی صدای حیوانات نیز



استاندارد ۲۰-۱۰ ساخت شرکت Science Beam استفاده شد. برای این منظور، شانزده داوطلب با میانگین سنی ۲۹ سال که همه آنان راست‌دست بودند، انتخاب شدند. معیار ورود شامل افرادی بود که از نظر روانی و جسمی و به‌ویژه سیستم شنوایی سالم باشند و متمایل به همکاری در پژوهش باشند. پس از اطلاع کامل همه داوطلبان از محتوای آزمون، رضایتمندی شرکت در پژوهش نیز به‌کمک امضای فرم رضایتمندی و اطمینان از نبود سابقه بیماری شنوایی انجام شد. معیار خروج نیز تمایل نداشتن به ادامه همکاری در پژوهش در نظر گرفته شد. داوطلبان به نوبت در موقعیت راننده قرار گرفتند و از آنان خواسته شد چشمان خود را در طول آزمایش ببندند (شکل ۱). پس از نصب تجهیزات روی آنها، تراکتور روشن شده و نوار مغزی هریک از آنها در دوره‌های مختلف موتور ثبت شد. در هریک از مراحل، از ۲۹ کانال که در شکل ۱ نشان داده شده است، داده‌برداری شد.

پس از ثبت داده‌ها، همه آرتیفکت‌های مزاحم حذف شد. در اولین مرحله پردازش سیگنال که توسط نرم‌افزار متلب R2016 انجام گرفت، فرکانس مزاحم ۵۰ هرتز حذف شد. این فرکانس که به دلیل وجود خطوط برق در نزدیکی محل آزمایش ایجاد شده بود، به وسیله فیلتر دیجیتالی Notch حذف شد. برای حذف سایر آرتیفکت‌ها همانند پلک‌زدن، حرکت کره چشم، حرکت عضلات صورت، حرکت الکترودها روی پوست سر که عموماً دارای فرکانس‌های پائین 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 (Details) و یک سیگنال تقریب (Approximation) است. تقریب مرحله هشتم حاوی محتویات فرکانسی زیر ۱/۵ هرتز است که این تقریب همان آرتیفکت است. پس از حذف سیگنال تقریب، از تجمیع سیگنال جزئیات، سیگنال بار دیگر بازسازی شد. پس از حذف آرتیفکت‌ها، سیگنال‌ها در محیط نرم‌افزار متلب به باندهای فرکانسی دلتا (۴-۱ هرتز)، تتا (۸-۴ هرتز)، آلفا (۱۳-۸ هرتز)، بتا (۳۰-۱۳ هرتز) و گاما (۵۰-۳۰ هرتز) تجزیه شدند.

رایج کشور فاقد کابین هستند، هدف از این تحقیق، بررسی ارتباط صدا به‌عنوان محرک بیرونی که غالب رانندگان تراکتور در مواجهه با آن قرار دارند و واکنش آنان در حین فعالیت شغلی با استفاده از ارزیابی فعالیت مغزی است.

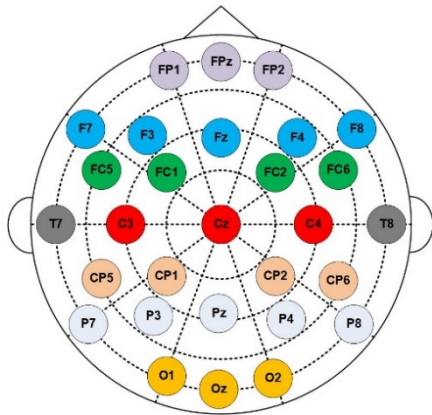
## روش کار

### تجهیزات آزمایش

در این تحقیق از یک تراکتور باغی مدل گلدونی ۳۴۱ دارای موتور ۳ سیلندر با توان ۴۱ اسب بخار استفاده شد. آزمایش‌ها در چهار دور موتور انجام شدند. ویژگی‌های مکان آزمون براساس استانداردهای سازمان بین‌المللی استاندارد در نظر گرفته شد [۳۱]. برای این منظور محوطه‌ای باز در مزرعه تحقیقاتی انتخاب شد. در زمان آزمون، سرعت باد توسط بادسنج دیجیتال اندازه‌گیری شد که در همه آزمایش‌ها کمتر از ۵ متر بر ثانیه به ثبت رسید. با توجه به اینکه همه آزمایش‌ها در فصل تابستان انجام شد، دمای هوای محیط نیز همواره بیشتر از ۵ درجه سانتی‌گراد بود که هر دو مقوله سرعت باد و دمای محیط در زمان آزمایش، کاملاً مطابق با شرایط مندرج در مقررات استاندارد بودند. براساس استاندارد، اختلاف میان تراز فشار صدای ماشین و تراز فشار صدای زمینه باید ترجیحاً بیش از ۱۰ دسی‌بل باشد. به همین منظور پیش از راه‌اندازی تراکتور، تراز فشار صدای زمینه اندازه‌گیری شد که اختلاف لازم را با صدای تراکتور داشت.

اندازه‌گیری سیگنال‌های صدا در موقعیت گوش راننده انجام شد. برای این منظور، میکروفن روی سه پایه در ارتفاعی متناسب با موقعیت گوش راننده و در حالت افقی قرار داده شد. در این تحقیق از میکروفن اندازه‌گیری مدل MP201، پیش تقویت‌کننده مدل MA231 و سامانه جمع‌آوری اطلاعات مدل MC3022 ساخت شرکت BSWA برای اندازه‌گیری صدای تراکتور استفاده شد. برای اندازه‌گیری سطح صدا، تراز معادل فشار صدا در شبکه توزین فرکانسی A به مدت یک دقیقه استفاده شد که برحسب dB(A) بیان می‌شود.

برای ثبت نوار مغزی از دستگاه eWave32D ساخت کشور ایران با نرخ نمونه‌برداری 1 ks/s و رزولوشن ۲۴ بیتی و کلاه



شکل ۱. ثبت EEG با استفاده از کلاه استاندارد ۲۰-۱۰ (راست) و موقعیت الکترودها روی سر (چپ)



در روش هیگوجی، بعد فرکتال طی مراحل زیر محاسبه می‌شود [۲۶].

اگر  $x(1), x(2), \dots, x(N)$  سری زمانی تحت آنالیز باشد، سری زمانی جدید  $X_m^k$  براساس رابطه ۴ ایجاد می‌شود:

$$X_m^k : x(m), x(m+k), x(m+2k), \dots, x(m + \text{int}[\frac{N-m}{k}])k \quad m=1,2,\dots,k$$

که  $m$  و  $k$  به ترتیب مقدار زمان  $X_m^k$  اولیه و گام زمانی هستند. طول میانگین هر منحنی با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

رابطه ۵

$$L_m(k) = \frac{1}{k} \left[ \frac{N-1}{\text{int}(\frac{N-m}{k})} \left( \sum_{i=1}^{\text{int}(\frac{N-m}{k})} |x(m+ik) - x(m+(i-1)k)| \right) \right]$$

طول میانگین کل برای تمامی سری‌های زمانی و برای همه  $k$  ها از مقدار یک تا  $k_{max}$  با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$L(k) = \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k L_m(k) \quad \text{رابطه ۶}$$

در منحنی  $\ln(L(k))$  در مقابل  $\ln(1/k)$  شیب خط حداقل مربعات خطی که بهترین تطبیق را با نمودار داشته باشد، HFD یا بعد فرکتال هیگوجی است.

### یافته‌ها

نتایج تراز فشار صدای تراکتور در دوره‌های مختلف موتور در جدول ۱ آمده است. آنچه از جدول ۱ می‌توان دریافت، سیر صعودی تراز فشار صدا در اثر افزایش دور موتور است. نتایج حاصل از کار سایر محققان نیز نشان می‌دهد که با افزایش دور موتور در ماشین‌ها، سطح صدا افزایش می‌یابد [۳۴، ۳۵].

### بعد فرکتال

تاکنون روش‌های متعددی برای تعیین بعد فرکتال معرفی شده‌اند که در میان آن‌ها سه روش هیگوجی، کاتز و پتروسین مقبولیت بیشتری داشته‌اند و در بیشتر تحقیقات استفاده شده‌اند [۳۲]. در این تحقیق، از دو روش هیگوجی و کاتز برای محاسبه بعد فرکتال سیگنال‌های صدا و همچنین سیگنال‌های مغزی استفاده شد. در روش کاتز، بعد فرکتال با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود. اگر سیگنال به صورت مجموعه‌ای از نقاط پشت سر هم در نظر گرفته شود، بعد فرکتال آن را که بر پایه تخمینی از طول این منحنی‌هاست، می‌توان از رابطه ۱ به دست آورد [۳۳]:

$$KFD = \frac{\log(L)}{\log(d)} \quad \text{رابطه ۱}$$

که  $L$  طول کلی منحنی و  $d$  قطر آن است. برای یک شکل موج، طول کلی منحنی برابر مجموع فاصله اقلیدسی میان نقاط متوالی و قطر  $d$  نیز دورترین فاصله بین نقطه شروع اولیه و هر نقطه دیگر شکل موج است. معادله ۱ باید توسط میانگین گام  $a$  تصحیح شود که در واقع میانگین فاصله بین نقاط متوالی است. در این صورت، معادله ۱ به معادله ۲ تبدیل می‌شود که در زیر آورده شده است:

$$KFD = \frac{\log(L/a)}{\log(d/a)} \quad \text{رابطه ۲}$$

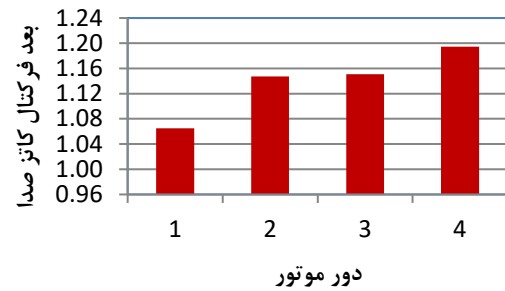
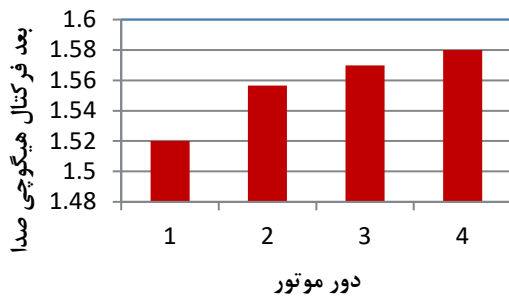
پس از تعریف  $n$  به عنوان تعداد گام‌ها در منحنی و قرار دادن آن در رابطه ۲، بعد فرکتالی کاتز به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$KFD = \frac{\log(n)}{\log(n) + \log(d/L)} \quad \text{رابطه ۳}$$

بُعد فرکتال سیگنال‌های صدای تراکتور به دو روش کاتز و هیگوجی در دوره‌های مختلف موتور در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. آنچه از این شکل کاملاً مشخص است، با افزایش دور موتور، مقادیر بُعد فرکتال در هر دو روش افزایش داشته‌اند.

جدول ۱. تراز فشار صدا در دوره‌های مختلف موتور

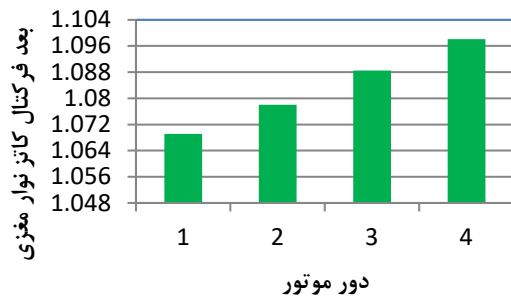
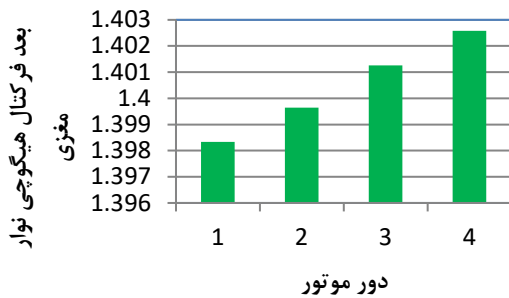
دور موتور	۱ (۱۰۰۰ rpm)	۲ (۱۳۰۰ rpm)	۳ (۱۶۰۰ rpm)	۴ (۱۹۰۰ rpm)
تراز فشار صدا dB(A)	۶۷/۸۴	۷۲/۹۰	۷۴/۱۵	۷۴/۸۶



شکل ۲. تغییرات بُعد فرکتال کاتز و هیگوجی صدای تراکتور در دوره‌های مختلف

در این شکل نیز روند صعودی بُعد فرکتال کاتز و هیگوجی در ازای افزایش دور موتور کاملاً مشهود است.

در شکل ۳ نیز بُعد فرکتال سیگنال‌های مغزی به دو روش کاتز و هیگوجی در دوره‌های مختلف موتور نشان داده شده‌اند.



شکل ۳. تغییرات بُعد فرکتال کاتز و هیگوجی نوار مغزی در دوره‌های مختلف موتور

۲ می‌توان دریافت که ضریب تبیین HFD از KFD بالاتر است. در واقع همبستگی قوی و معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد میان HFD سیگنال‌های مغزی و صدا وجود دارد.

به‌منظور بررسی ارتباط میان صدا و فعالیت مغزی افراد مورد آزمون، رگرسیون میان بُعد فرکتال سیگنال‌های مغزی و صدا به‌طور مجزا برای هر یک از دو روش کاتز و هیگوجی انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول

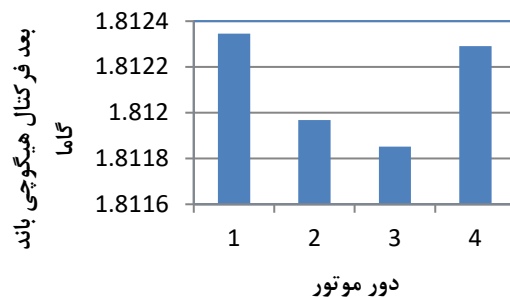
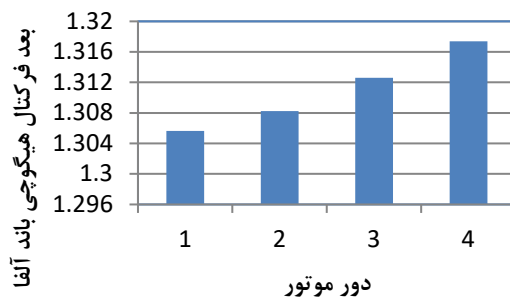
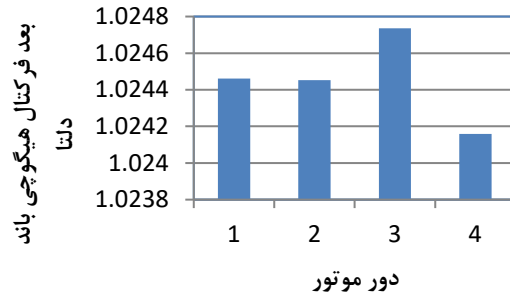
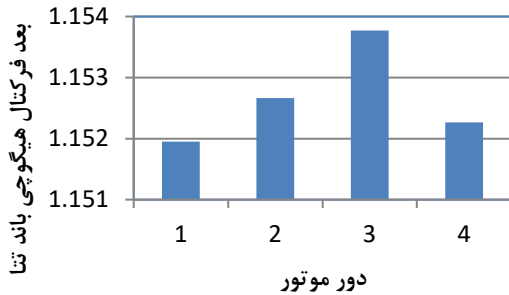
جدول ۲. رگرسیون بُعد فرکتال سیگنال‌های صدا و سیگنال‌های مغزی

HFD	KFD	
۰/۸۹۶	۰/۸۵۹	R <sup>2</sup>
۱۷/۲۶۶	۱۲/۱۸	F
۰/۰۴۹	۰/۰۷۳	p-value



تغییرات بُعد فرکتال هیگوچی هریک از باندهای فرکانسی دلتا، تتا، آلفا، بتا و گاما برحسب دور موتور بررسی شد که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است.

با توجه به اینکه همبستگی قوی و معنی‌داری میان HFD سیگنال‌های مغزی و صدا مشاهده شد، میزان همبستگی در باندهای فرکانسی نیز بررسی شد. برای این منظور ابتدا روند



شکل ۴. روند تغییرات بُعد فرکتال هیگوچی سیگنال‌های مغزی برای باندهای فرکانسی

با توجه به این نتایج می‌توان دریافت که همبستگی قوی بین HFD صدا و هریک از باندهای آلفا و بتا وجود دارد و میزان همبستگی در سایر باندها نیز ضعیف است.

از آنجا که بُعد فرکتال هیگوچی هریک از باندهای فرکانسی روند متفاوتی را از خود نشان دادند، رگرسیون میان بُعد فرکتال هیگوچی سیگنال‌های صدا و سیگنال‌های مغزی در هریک از باندها به تفکیک انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. رگرسیون بُعد فرکتال هیگوچی سیگنال‌های صدا و سیگنال‌های مغزی در باندهای فرکانسی

$\gamma$	$\beta$	$\alpha$	$\theta$	$\delta$	
۰/۱۶۸	۰/۸۷۱	۰/۸۲۱	۰/۲۵۳	۰/۰۳۵	<b>R<sup>2</sup></b>
۰/۴۰۴	۱۳/۴۸۴	۹/۱۷۸	۰/۶۷۹	۰/۰۷۳	<b>F</b>
۰/۵۹۰	۰/۰۶۷	۰/۰۹۴	۰/۴۹۷	۰/۸۱۲	<b>p-value</b>

تبیین هریک از مدل‌ها بیانگر این است که متغیرهای مستقل، از قدرت تبیین بالایی برخوردارند و قادرند به خوبی میزان تغییرات متغیر وابسته را تبیین کنند.

$$\text{Sound} = +4.587 \alpha - 4.457$$

$$\text{Sound} = -23.061 \alpha + 53.140 \beta - 58.425$$

$$\text{Sound} = -19.188 \alpha + 45.330 \beta + 4.913 \theta - 55.908$$

مقایسه با سایر روش‌ها از جمله کاتز نیز در سایر تحقیقات تأیید شده است [۳۲].

وجود همبستگی میان بُعد فرکتال محرک‌های بیرونی و واکنش افرادی که در مواجهه با آن محرک‌ها قرار دارند، در برخی تحقیقات نیز اشاره شده است [۴۲، ۳۰]. همان‌گونه که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، با افزایش بُعد فرکتال هیگوجی صدا به‌عنوان محرک بیرونی، بُعد فرکتال هیگوجی سیگنال مغزی نیز با افزایش روبه‌رو شد. در واقع افزایش پیچیدگی صدا سبب افزایش پیچیدگی سیگنال‌های مغزی شده است که با نتایج تحقیقات دیگر مطابقت دارد [۳۰]. پس از تأیید وجود همبستگی قوی میان متغیرها، شاید مهم‌ترین نکته‌ای که باید به‌دنبال آن بود، یافتن معادله‌ای است که به‌صورت ریاضی این رابطه را نشان دهد. مدل‌های متفاوتی در تحقیقات استفاده شده است، ولی به‌دلیل قابلیت پیش‌بینی بالای مدل‌های مبتنی بر فرکتال، این مدل‌ها بر سایر مدل‌های ریاضی برتری دارد [۳۰]. به‌منظور دست‌یافتن به مدل خطی ساده‌ای که کمترین تعداد متغیرها در آن وجود داشته باشند، رگرسیون میان بُعد فرکتال هیگوجی سیگنال‌های صدا و سیگنال‌های مغزی در هریک از باندها به تفکیک انجام شد. مطابق نتایج، دو باند آلفا و بتا بیشترین تأثیر را در این باره داشتند. تأثیرپذیری دو باند آلفا و بتا از محرک‌های بیرونی در سایر تحقیقات نیز بیان شده است [۴۳، ۳۹]. تغییرات دو باند آلفا و بتا به‌عنوان معیاری برای تشخیص خواب‌آلودگی، خستگی، استرس و غیره در نظر گرفته می‌شود [۴۴، ۴۵].

اگرچه براساس رابطه ۸، ۹۸/۳ درصد از تغییرات صدا توسط دو متغیر آلفا و بتا قابل تبیین است، جواب دقیق‌تر با استفاده از سه متغیر آلفا، بتا و تتا حاصل شده است که بیشترین میزان همبستگی را داشتند. با بهره‌گیری از مدل‌های به‌دست‌آمده می‌توان خصوصیات سیگنال‌های مغزی افراد را در واکنش به تغییرات صدا بررسی کرد. از آنجا که ثبت سیگنال‌های مغزی باید تحت شرایط خاصی انجام شود و معمولاً نیز زمان‌بر خواهد بود، با یافتن معادلات حاکم بر روابط محرک‌های بیرونی و واکنش افراد در حین فعالیت شغلی، قادر به پیش‌بینی خصوصیات سیگنال‌های مغزی بدون ثبت آن‌ها خواهیم بود.

با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، سه مدل خطی در قالب سه رابطه ۷، ۸ و ۹ به دست آورده شد. در این روش، همه متغیرهای مستقل هم‌زمان وارد مدل شدند. مقادیر ضریب رابطه ۷

$$0.821R^2 =$$

رابطه ۸

$$0.983R^2 =$$

رابطه ۹

$$0.995R^2 =$$

براساس رابطه ۷، ۸۲/۱ درصد از تغییرات صدا را تنها متغیر آلفا می‌تواند تبیین کند. در رابطه ۸ نیز ۹۸/۳ درصد از تغییرات صدا به کمک دو متغیر آلفا و بتا تبیین می‌شود. بهترین نتیجه نیز با رابطه ۹ به دست آمد که در آن ۹۹/۵ درصد تغییرات صدا به کمک سه متغیر آلفا، بتا و تتا تبیین می‌شود.

## بحث

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که بُعد فرکتال سیگنال‌های صدای تراکتور در ازای افزایش دور موتور افزایش می‌یابد و این افزایش در هر دو روش کاتز و هیگوجی به چشم می‌خورد. به‌طور کلی با افزایش دور موتور، سرعت حرکت قطعات و اجزای موتور از یک‌سو بیشتر شده و از سوی دیگر نیز حرکات ارتعاشی سایر اجزای تراکتور افزایش می‌یابد. به همین دلیل در تحقیقات مختلف، افزایش تراز فشار صدا در ازای افزایش دور موتور گزارش شده است [۳۶، ۳۷]. با توجه به اینکه افزایش تراز فشار صدا با بی‌نظمی بیشتر سیگنال صدا همراه است، افزایش بُعد فرکتال سیگنال صدا منطقی به نظر می‌رسد [۲۶].

با عنایت به اینکه داوطلبان شرکت‌کننده در این تحقیق تنها در معرض صدای موتور قرار داشتند، تغییرات بُعد فرکتال سیگنال‌های مغزی را می‌توان ناشی از تغییرات صدا دانست. تأثیر صدا بر فعالیت مغز انسان نیز در سایر تحقیقات گزارش شده است. تحقیقات نشان داده که قرارگیری انسان در معرض آهنگ‌های خوشایند و ناخوشایند در نواحی مختلف مغز تأثیرگذار است [۳۸]. همچنین محیط کاری پرصدا می‌تواند تغییراتی در سیگنال‌های مغزی ایجاد کند [۳۹]. همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، هدف از این تحقیق، بررسی ارتباط صدا و واکنش مغزی افراد است. به همین منظور، رگرسیون میان بُعد فرکتال سیگنال‌های مغزی و صدا انجام شد. با وجود اینکه همبستگی قوی و معنی‌داری میان HFD سیگنال‌های مغزی و صدا مشاهده شد، چنین نتیجه‌ای درباره KFD به دست نیامد. این موضوع نشان می‌دهد که روش تعیین بُعد فرکتال دارای اهمیت است که در سایر تحقیقات نیز به نتایج متفاوت روش‌های تعیین بُعد فرکتال اشاره شده است [۴۰، ۴۱]. البته دقت بالای روش هیگوجی در تخمین بُعد فرکتال در

## نتیجه گیری

گیرد که تراکتور در حال حرکت باشد که نیازمند تجهیزات پرتابل است؛ بنابراین به دلیل دسترسی نداشتن به تجهیزات پرتابل، تحقیق حاضر با محدودیت همراه بوده است.

## تقدیر و تشکر

این مطالعه حاصل طرح تحقیقاتی با شماره ۹۷/۱۵۰۰۱ بوده است؛ بنابراین از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اراک سپاسگزاری می‌شود. همچنین از دانشگاه صنعتی اراک به دلیل تأمین بخشی از تجهیزات آزمایش تقدیر و تشکر می‌شود.

## تعارض منافع

میان نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

## سهم نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و تحلیل این مطالعه مشارکت داشته‌اند.

## منابع مالی

منابع مالی این مطالعه را دانشگاه اراک تأمین کرده است.

با توجه به اینکه پیچیدگی را می‌توان وجه مشترک سیگنال‌های مغزی و صدا دانست، بُعد فرکتال می‌تواند به‌عنوان شاخصی واحد برای ارزیابی هر دو نوع سیگنال استفاده شود. البته روش تعیین بُعد فرکتال نیز مهم است که براساس نتایج حاصل‌شده، روش هیگوجی از دقت بیشتری برخوردار بود. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد، با افزایش بُعد فرکتال صدا، بُعد فرکتال سیگنال‌های مغزی نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که همبستگی بالایی میان بُعد فرکتال هیگوجی سیگنال‌های مغزی و صدا وجود دارد. به غیر از بُعد فرکتال، شاید به‌ندرت بتوان شاخصی یافت که بین سیگنال‌های مغزی و صدا ارتباط برقرار کند؛ بنابراین می‌توان واکنش افراد را زمانی که در معرض صدا قرار دارند، با استفاده از بُعد فرکتال پیش‌بینی کرد. برای این منظور می‌توان از دو باند آلفا و بتا بهره گرفت که همبستگی‌ای قوی میان هر یک از آن‌ها و بُعد فرکتال هیگوجی صدا وجود دارد.

در بیشتر امور کشاورزی، هنگامی که تراکتور در حال حرکت است، از آن بهره‌برداری می‌شود. به‌منظور نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، داده‌برداری زمانی انجام

## References

- Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, Stansfeld S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*. 2014;383(9925):1325-32. [DOI:10.1016/S0140-6736(13)61613-X]
- Sygn K, Aasvang GM, Aamodt G, Oftedal B, Krog NH. Road traffic noise, sleep and mental health. *Environ Res*. 2014;131:17-24. [DOI:10.1016/j.envres.2014.02.010] [PMID]
- Van Kamp I, Davies H. Noise and health in vulnerable groups: a review. *Noise and health*. 2013;15(64):153. [DOI:10.4103/1463-1741.112361] [PMID]
- Gorai AK, Pal AK. Noise and its effect on human being-A review. *J Environ Sci Eng*. 2006;48(4):253.
- Nassiri P, Monazam M, Dehaghi BF, Abadi LI, Zakerian SA, Azam K. The effect of noise on human performance: A clinical trial. *Int J Occup Environ Med (The IJOEM)*. 2013;4:212-87.
- Van Kempen EE, Kruijze H, Boshuizen HC, Ameling CB, Staatsen BA, de Hollander AE. The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environ Health Perspect*. 2002;110(3):307-17. [DOI:10.1289/ehp.02110307] [PMID] [PMCID]
- Stansfeld SA, Matheson MP. Noise pollution: non-auditory effects on health. *Br Med Bull*. 2003;68(1):243-57. [DOI:10.1093/bmb/ldg033] [PMID]
- Clark C, Stansfeld SA. The effect of transportation noise on health and cognitive development: A review of recent evidence. *Int J Comp Psychol*. 2007;31;20(2).
- Seidman MD, Standing RT. Noise and quality of life. *Int J Environ Res Public Health*. 2010;7(10):3730-8. [DOI:10.3390/ijerph7103730] [PMID] [PMCID]
- Lar MB, Pay M, Bagheri J, Pour ZK. Comparison of noise level of tractors with cab and without in different gears on driver ear and bystander. *Afr J Agric Res*. 2012;7(7):1150-5. [DOI:10.5897/AJAR11.1431]
- Ghaderi M, Javadikia H, Naderloo L, Mostafaei M, Rabbani H. Analysis of noise pollution emitted by stationary MF285 tractor using different mixtures of biodiesel, bioethanol, and diesel through artificial intelligence. *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26(21):21682-92. [DOI:10.1007/s11356-019-05523-1] [PMID]
- Lalremruata, Dewangan KN, Patel T. Noise exposure to tractor drivers in field operations. *Int J Veh Perform*. 2019;5(4):430-42. [DOI:10.1504/IJVP.2019.104085]

13. Lashgari M, Arab MR. 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]
14. 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;5(2):124-30. [DOI:10.1016/j.bspc.2010.01.001]
15. Li W, He QC, Fan XM, Fei ZM. Evaluation of driver fatigue on two channels of EEG data. *Neurosci Lett.* 2012;506(2):235-9. [DOI:10.1016/j.neulet.2011.11.014] [PMID]
16. 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;34(2):81-8. [DOI:10.1016/j.displa.2013.01.002]
17. 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. *J Therm Biol.* 2004 Oct 1;29(7-8):731-7. [DOI:10.1016/j.jtherbio.2004.08.047]
18. Bachmann M, Lass J, Hinrikus H. Single channel EEG analysis for detection of depression. *Biomed Signal Process Control.* 2017 ;31:391-7. [DOI:10.1016/j.bspc.2016.09.010]
19. Rodriguez-Bermudez G, Garcia-Laencina PJ. Analysis of EEG signals using nonlinear dynamics and chaos: a review. *Appl Math Inf Sci.* 2015;9(5):2309.
20. Khodabakhshi M, Saba V. The Analysis of Individuals Emotions Through Brain Signals Using Poincare Approach. *Paramed Sci Mil Health.* 2018;13(3):12-9.
21. Mohammadi E, Kermani S, Golparvar M. Evaluation of Chaos on Electroencephalogram in Different Depths of Anesthesia. *J Isfahan Med Sch.* 2018; 36(482): 601-6.
22. Hamidi M, Ghassemian H, Imani M. Classification of heart sound signal using curve fitting and fractal dimension. *Biomedical Signal Processing and Control.* 2018;39:351-9. [DOI:10.1016/j.bspc.2017.08.002]
23. Bigerelle M, Iost A. Fractal dimension and classification of music. *Chaos, Solitons & Fractals.* 2000;11(14):2179-92. [DOI:10.1016/S0960-0779(99)00137-X]
24. Gunasekaran S, Revathy K. Automatic recognition and retrieval of wild animal vocalizations. *Int J Comput Theory Eng.* 2011 Feb 1;3(1):136. [DOI:10.7763/IJCTE.2011.V3.295]
25. Chen J, Liao S, Gan J, Wang XW, Zhu LJ, Mi L. Application of Fractal Dimension to Engine Fault Diagnosis Based on Noise. *Vehicle Engine.* 2011; (5):21.
26. Boroujeni FM, Maleki A. Fractal Analysis of Noise Signals of Sampo and John Deere Combine Harvesters in Operational Conditions. *Archives of Acoustics.* 2019;44. [DOI:10.2307/j.ctvk8w13s.43]
27. Namazi H, Kulish VV. Fractional diffusion based modelling and prediction of human brain response to external stimuli. *Comput Math Methods Med.* 2015; 2015:1-11. [DOI:10.1155/2015/148534] [PMID] [PMCID]
28. Will U, Berg E. Brain wave synchronization and entrainment to periodic acoustic stimuli. *Neurosci Lett.* 2007;424(1):55-60. [DOI:10.1016/j.neulet.2007.07.036] [PMID]
29. Eswaran H, Draganova R, Preissl H. Auditory evoked responses: a tool to assess the fetal neurological activity. *Appl Acoust.* 2007;68(3):270-80. [DOI:10.1016/j.apacoust.2006.03.004]
30. Namazi H. Complexity based analysis of the correlation between external stimuli and bio signals. *ARC J. Neurosci..* 2018;3(3):6-9.
31. ISO 5131. 1996. Acoustics: Tractors and machinery for agriculture and forestry measurement of noise at operator's position.
32. Kesić S, Spasić SZ. Application of Higuchi's fractal dimension from basic to clinical neurophysiology: a review. *Computer methods and programs in biomedicine.* 2016 Sep 1;133:55-70. [DOI:10.1016/j.cmpb.2016.05.014] [PMID]
33. Abdossalehi, M., Nasrabadi, A. M. & Firouzabadi, S.M. Investigation of Positive, Negative and Neutral Emotion's determinism through EEG signal processing in extracted component of ICA. *Iran J Biomed Eng.* 2013;7(2):143-153.
34. Rabbani H, Lorestani A, Javadikia P, Gholami R. Noise evaluation of MF285 tractor while pulling a trailer in an asphalt road. *Int J Agric Eng.* 2012;14(4):50-5.
35. Ghotbi MR, Monazzam MR, Khanjani N, Nadri F, Fard SM. Driver exposure and environmental noise emission of Massey Ferguson 285 tractor during operations with different engine speeds and gears. *Afr J Agric Res.* 2013;8(8):652-659.
36. Jahanbakhshi A, Ghamari B, Heidarbeigi K. Effect of engine rotation speed and gear ratio on the acoustic emission of John Deere 1055I combine harvester. *Int J Agric Eng.* 2016;18(3):106-12.
37. Lashgari M, Maleki A. Evaluation of lawn tractor noise using acoustic and psychoacoustic descriptors. *Eng Agric Environ Food.* 2016;9(1):116-22. [DOI:10.1016/j.eaef.2015.07.001]
38. Banerjee A, Sanyal S, Patranabis A, Banerjee K, Guhathakurta T, Sengupta R, Ghosh D, Ghose P. Study on brain dynamics by non linear analysis of music induced EEG signals. *Phys A: Stat Mech Appl.* 2016 Feb 15;444:110-20. [DOI:10.1016/j.physa.2015.10.030]
39. Bhoria R, Singal P, Verma D. Analysis of effect of sound levels on EEG. *Int J Adv Technol Eng.* 2012 Mar;2(2):121-4.
40. Pavithra M, NiranjanaKrupa B, Sasidharan A, Kutty BM, Lakkannavar M. Fractal dimension for drowsiness detection in brainwaves. In 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I) 2014 Nov 27 (pp. 757-761). IEEE. [DOI:10.1109/IC3I.2014.7019676]
41. Ahmadlou M, Adeli H, Adeli A. Fractality analysis of frontal brain in major depressive disorder. *Int J Psychophysiol.* 2012 Aug 1;85(2):206-11. [DOI:10.1016/j.ijpsycho.2012.05.001] [PMID]

42. Alipour ZM, Khosrowabadi R, Namazi H. Fractal-based analysis of the influence of variations of rhythmic patterns of music on human brain response. *Fractals*. 2018;26(05):1850080. [[DOI:10.1142/S0218348X18500809](https://doi.org/10.1142/S0218348X18500809)]
43. 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;47(1):115-24. [[DOI:10.1016/j.ssci.2008.01.007](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.01.007)]
44. Jap BT, Lal S, Fischer P, Bekiaris E. Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Syst. Appl.* 2009;36(2):2352-9. [[DOI:10.1016/j.eswa.2007.12.043](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.12.043)]
45. 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;12(1):27-33.