**Journal of Acoustical Society of Iran, Vol. 12, No. 1, 2024**

# (Research Article)
# Measurements of ambient and elevated sound levels in an experimental tank

**Saeed Shafiei Sabet*, Marziyeh Aminifard, Zahra Samandar, Fatemeh Alizadeh Lademakhi**
Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan
Revised: 2024/05/28, Accepted: 2024/09/21

## Abstract

Researchers typically expose aquatic animals to sound treatments and conduct behavioral observations to understand the impact of anthropogenic noise on animals in small, water-filled tanks. In this study, using a methodological approach, a model for measuring and analyzing underwater sound levels in a fish tank is presented. Measurements of sound pressure levels were taken under ambient background noise conditions (with and without the use of an underwater loudspeaker), as well as for an increased sound pressure level at three-dimensional locations (length, width, and height) within a fish tank. There was no significant difference ($P > 0.05$) in sound levels between the two absolute ambient conditions (96.03 and 96.13 dB re 1 µPa for conditions with and without underwater speaker playback, respectively). However, a significant difference ($P < 0.001$) was observed between ambient sound conditions and the elevated sound playback treatment (96.40 dB re 1 µPa). Due to the complexity of underwater sound fields in laboratory-based experiments, the use of standardized playbacks and the creation of biologically relevant acoustic stimuli are crucial to avoiding pseudoreplication and ensuring the reliability of underwater bioacoustic studies and behavioral research. Furthermore, to produce rigorous, evidence-based science that enhances reproducibility and repeatability in underwater acoustic studies, it is recommended to provide open-source metadata, a detailed methodology, and explicit reporting of acoustic component measurements in behavioral studies.

**Keywords**: Spectrogram, Underwater sound, Sound exposure, Laboratory conditions, Ambient sound, Fish tank.

pp. 48-61 (In Persian)

[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

* Corresponding author E-mail: s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir

مقاله پژوهشی

مجله انجمن علوم صوتی ایران

سال: ۱۴۰۳، دوره: ۱۲، شماره ۱، صفحات: ۴۸-۶۱

# اندازه‌گیری شدت ترازهای صدای زمینه و پخش صدا در یک مخزن آزمایشی

**سعید شفیعی ثابت*، مرضیه امینی فرد، زهرا سمندر، فاطمه علیزاده لادمخی**

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

**چکیده**

محققان برای بررسی تأثیر آلودگی صدا ناشی از فعالیت انسانی، معمولاً آبزیان را در مخازن کوچک در معرض نوفه قرار می‌دهند. در این مطالعه، با استفاده از یک رویکرد روش‌شناختی، الگویی برای اندازه‌گیری و تحلیل ترازهای صدای زیرآب در یک مخزن ماهی ارائه‌شده است. اندازه‌گیری ترازهای فشار صدا در شرایط نوفه زمینه محیط (با و بدون استفاده از بلندگوی زیرآب) و تیمار افزایش‌یافته شدت صدا برای یک نقطه سه-بعدی (طول، عرض و ارتفاع) در مخزن ماهی صورت گرفت. نتایج نشان دادند که تفاوت معنی‌داری برای ترازهای صدا بین شرایط نوفهٔ زمینه محیط (مقدار ۹۶٫۰۳ و ۹۶٫۱۳ دسی بل رفرنس ۱ میکروپاسکال به ترتیب برای با و بدون پخش نوفهٔ زمینه بلندگوی زیرآب) وجود ندارد ($P > ۰٫۰۵$). بااین‌حال تفاوت معنی‌داری ($P < ۰٫۰۰۱$) برای ترازهای صدا بین تیمارهای نوفهٔ زمینه محیط با تیمار پخش صدا افزایش‌یافته ثبت شد. به دلیل پیچیدگی میدان‌های صدای زیرآب در مطالعات آزمایشگاهی، استفاده از تیمارهای صدای استاندارد و ایجاد محرک‌های صوتی مرتبط زیستی از تکرار کاذب جلوگیری کرده و نقشی محوری برای مطالعات زیست‌صوتیّات زیرآب و تحقیقات رفتاری ایفا می‌کند. علاوه بر این، برای تولید علم دقیق مبتنی بر شواهد منجر به افزایش تکرارپذیری در مطالعات صوتی زیرآب، ارائه وراء داده منبع باز، روش‌شناسی دقیق و گزارش صریح اندازه‌گیری اجزای صوتی در مطالعات رفتاری توصیه می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** طیف نگاره، ترازهای فشار صدا، تانک ماهی، آبزیان، پخش صدا

## ۱. مقدمه

از میان آبزیان شامل بی‌مهرگان، ماهی‌ها و پستانداران گونه‌های متعددی برای اهداف مختلف در شرایط مهارشده آزمایشگاهی و محیط‌های محصور نگهداری می‌شود. این اهداف شامل نگهداری آن‌ها در باغوحش‌ها و یا مراکز آکواریوم‌های بزرگ جهت بازدید عموم و تفریحی، بازسازی ذخایر آبزیان در مراکز تکثیر و پرورش، پرورش آبزیان برای مصارف تغذیه انسانی و هم‌چنین پژوهش در شاخه‌های علوم مختلف است.

از طرفی علاوه بر، سایر محیط‌های محصور مورد استفاده برای تکثیر و پرورش و نگهداری آبزیان، از دهه‌های گذشته تاکنون برای انجام مطالعات علمی آبزیان، مخازن و تانک‌های کوچک به‌طور وسیعی استفاده می‌شوند [۱ و ۲].

بسیاری از پژوهش‌ها در علوم زیست‌شناختی رفتار و زیست‌صوتیّات نیز تحت شرایط مهارشده آزمایشگاهی و در تانک‌ها و مخازن آبی انجام می‌شوند. اصوات با منابع مختلف علاوه بر محیط‌های طبیعی و زیستگاه‌های آبی، در محیط‌های محصور و مهارشده آبی نیز وجود دارند که بررسی ویژگی‌های فیزیکی و زیستی آن‌ها دارای اهمیت است.

آبزیان از حواس مختلف مثل بینایی، بویایی، چشایی و شنوایی برای درک محیط اطرافشان استفاده می‌کنند و هرگونه اختلال در توانایی‌شان برای دریافت محرک‌های محیطی می‌تواند اثرات منفی و در برخی موارد جبران‌ناپذیری برای آن‌ها داشته باشد [۳]. صدا برای ماهی‌ها و بسیاری از بی‌مهرگان دارای اهمیت است [۴-۶].

* نویسنده پاسخگو: s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

به‌طورکلی گونه‌های جانوری از صداها می‌توانند برای برقراری ارتباط باهم گونه‌ای، شناسایی شکار و شکارگر، مسیریابی‌ها و انتخاب زیستگاه‌های مناسب استفاده نمایند [۳ و ۹-۷].

بیش از ۹۸۹ گونه از ۱۷۵ خانواده ماهیان توانایی تولید صدا را دارا هستند [۱۰ و ۱۱] این صداهای تولیدشده برای اهداف مختلف زیستی مثلاً جذب جنس مخالف و انجام رفتارهای تولیدمثلی، قلمروطلبی، انتقال اطلاعات ضروری با اهمیت و هشدارها برای گونه‌های آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳].

به همین جهت، اندازه‌گیری ویژگی‌های صوتی در محیط‌های طبیعی و شرایط مهارشده آزمایشگاهی برای بررسی دقیق، شناسایی و تمایز منشأ و علت صداهای تولیدشده توسط گونه‌های آبزیان انجام می‌شود.

آلودگی‌های صدای ناشی از فعالیت‌های انسانی با دامنه تنوع در شدت و طیف بسامدی به همراه الگوهای زمانی و مکانی متغیر در محیط‌های آبی در حال گسترش هستید [۳].

به همین دلیل محققین و پژوهشگران با استفاده از الگوبرداری از این منابع آلودگی صدا، به بررسی اثر صدا بر آبزیان (مطالعات انجام‌شده شامل ماهی‌ها: زبرا[۱]، باس دریایی[۲]، سیچلاید دریاچه ویکتوریا[۳]، کاد اقیانوس اطلس[۴] و سخت‌پوستان: دافنی[۵]، میگوی گیلاسی[۶]، خرچنگ ساحلی[۷] و میگو[۸] و نرم‌تنان: صدف آبی[۹] و صدف ماسل[۱۰] می‌شوند، در محیط‌های طبیعی و شرایط مهارشده آزمایشگاهی می‌پردازند [۱۲-۲۸].

با توجه به نگهداری بسیار متنوع گونه‌های آبزیان (تنوع[۱۱]) و تعداد بالای آن‌ها (تراکم[۱۲]) در شرایط مهارشده آزمایشگاهی و مخازن آبزیان و تانک‌های ماهی، دانستن شرایط موجود صوتی در این بخش ضروری است.

برای اینکه نتایج حاصل از این دسته از مطالعات و پژوهش‌ها به‌طور صحیح تجزیه تحلیل و تفسیر شوند، نیاز است که پژوهشگران ویژگی‌های صوتی تانک‌های آزمایش و محیط (زیستگاه) طبیعی گونه‌های آبزیان مورد مطالعه را درک نمایند.

اندازه‌گیری و تعیین مقدار شدت صدا و شیب‌های صدای برای بررسی توانایی دریافت و استفاده از صدا توسط گونه‌های آبزیان و انجام مطالعات اثر صدا دارای اهمیت هستند [۲۹-۳۰].

بنابراین، انجام اندازه‌گیری‌های شنوایی در آبزیان و سایر مطالعات زیست‌صوتیّات جهت بررسی و ارزیابی اثر آلودگی‌های صدای ناشی از فعالیت‌های انسانی در مخازن، تانک‌ها و استخرهای آبزیان به‌عنوان راهی برای ارائه یک محیط مهارشده آزمایشگاهی معمول است.

هم‌چنین، استفاده صحیح از تیمارهای صدا و روش پخش آن برای انجام این توالی از مطالعات و جلوگیری از ایجاد تیمار/تکرارهای صدای کاذب[۱۳] و غیرعلمی دارای اهمیت ویژه‌ای است.

همانند محیط‌های طبیعی زیستگاه‌های خشکی، در محیط‌های آبی نیز منابع صدای متنوعی وجود دارد که صدای زمینه[۱۴] را تشکیل می‌دهد. بنابراین، صداهای با منشأ غیرزیستی[۱۵] همچون باد و باران و امواج در کنار صداهای با منشأ زیستی[۱۶] تولیدشده توسط گونه‌های آبزی شامل بی‌مهرگان، ماهی‌ها و پستانداران در زیستگاه‌های متنوع آبی پراکنده‌اند.

این منابع صدا باهم صدای زمینه آن محیط‌های آبی را تشکیل می‌دهند [۳۳]. این شرایط صدا و نوفه‌های زمینه می‌توانند در مخازن و تانک‌های آب و محل نگهداری آبزیان در شرایط مهارشده آزمایشگاهی نیز برقرار باشند.

مطالعات متعدد و از نظر شیوه‌شناسی انجام پژوهش معتبری در خصوص اندازه‌گیری و تخمین صداهای زمینه در زیستگاه‌های آب شیرین [۳۴و۳۵] و آب‌شور [۳۶و۳۷] صورت گرفته‌اند. با توجه به فیزیک پخش صدا و اهمیت صدا در آب برای گونه‌های آبزیان، دانستن وضعیت و شرایط صداهای موجود در این محیط‌های محصور، و انجام صحیح آزمایش‌های رفتارشناختی مرتبط با صدا نقش با اهمیتی دارند.

[1] Zebrafish
[2] Dicentrarchus labrax
[3] Haplochromis piceatus
[4] Gadus morhua
[5] Daphnia magna
[6] Neocaridina davidi
[7] Carcinus maenas
[8] Crangon crangon
[9] Mytilus edulis
[10] Mytilus spp
[11] Diversity
[12] Density
[13] Psudoreplication
[14] Ambient noise
[15] Abiotic
[16] Biotic



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

اگرچه باید در نظر داشت که خصوصیات پخش و پراکنش صداها و دامنهٔ بسامدها و شدت صدا و شیب‌های صدا در محیط‌های طبیعی و محیط‌های مهارشده آزمایشگاهی متفاوت و کاملاً اختصاصی هستند.

### ۱-۱. اهمیت انتخاب تیمارهای صدا در پژوهش‌های رفتاری

عوامل متغیر در منابع صدا و صداهای زمینه شامل ترازهای شدت صدا، طیف‌های بسامدی صدا و الگوهای زمانی هستند. مقایسه هریک از این اختصاصات صدای اندازه‌گیری‌شده گاهی دشوار است، زیرا ممکن است از روش‌های اندازه‌گیری یا معیارهای صدای متفاوتی استفاده شود.

درنتیجه، این اندازه‌گیری‌ها و داده‌های صدای به‌دست‌آمده می‌توانند معانی و کاربردهای متفاوت داشته باشند که منجر به سردرگمی بین متخصصین و پژوهشگران در یک‌رشته و یا رشته‌های مختلف شود.

در مطالعات قبلی نویسنده مقاله به بررسی اثر صدا بر رفتار ماهی گور (زبرا)، سیکلید از مهره‌داران و میگوی قرمز گیلاسی [۲۴ و ۲۵] و دافنی [۲۶] از بی‌مهرگان پرداخته است. در مطالعات نام‌برده‌شده جهت مقایسه اثرات پخش تیمارهای صدا بر گونه جانوری از تیمار پخش صدا زمینه به‌عنوان شاهد استفاده گردید که با روش‌های علمی پخش صدا توسط سایر محققین همخوانی دارد.

البته، در مباحثات علمی گذشته این موضوع مطرح گردید که پخش صدای زمینه با دستگاه پخش صدا به‌عنوان تیمار شاهد می‌تواند به‌عنوان دو برابر شدن شدت صدای زمینه در مقایسه با عدم پخش صدا و خاموش بودن دستگاه پخش صدا به‌عنوان تیمار شاهد محسوب گردد.

به همین جهت، برای بررسی این موضوع، در این پژوهش به‌طور مقایسه‌ای ترازهای شدت صدا و طیف بسامدی موجود در یک تانک ماهی در سه تیمار شامل: الف) شاهد بدون بخش صدای زمینه و در حالت خاموش بودن دستگاه پخش صدا، ب) شاهد با پخش صدای زمینه به‌وسیله دستگاه پخش صدا و ج) تیمار شدت صدای افزایش‌یافته با الگوی زمانی پیوسته که در مطالعات زیست صدا و زیست‌شناختی رفتارشناختی استفاده می‌شود، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

اگرچه هنوز اطلاعات کمی در خصوص اثرات آلودگی‌های صدا ناشی از فعالیت‌های انسانی برای مثال بر ماهیان موجود است [۳۸ و ۳۹].

## ۲. مواد و روش

### ۲-۱. طرح آزمایش

این مطالعه در آزمایشگاه زیست صدا و زیست‌شناختی رفتاری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان واقع در شهرستان صومعه‌سرا انجام شد. یک تانک ماهی به ابعاد ۸۶*۳۵*۴۰ (به ترتیب طول، عرض و ارتفاع) سانتی‌متر و با عمق آبگیری ۳۴ سانتی‌متر استفاده شد (شکل‌های ۱ و ۲).

اطراف تانک آزمایشی مورداستفاده به‌وسیله پوشش نایلون پلاستیکی سیاه‌رنگ (پلاستیک زباله) پوشیده شد. علت ایجاد این پوشش نایلونی پلاستیکی، تکرارپذیری شرایط دقیق تانک ماهی است که در مطالعات رفتارشناختی قبلی جهت کاهش هرگونه اختلال و عوامل تنش‌زا مورد استفاده قرارگرفته بود [۲۶ و ۴۰] هم‌چنین، این ابعاد تانک ماهی برای مطابقت با یک مخزن که اغلب توسط نویسندگان برای انجام آزمایش‌های صوتی و رفتارشناختی انجام می‌شود، انتخاب گردید.

تمامی آزمایش‌های پخش و اندازه‌گیری‌های صدا در بازه زمانی ۰۹:۳۰ صبح الی ۱۲ ظهر انجام گردیدند. برای آبگیری تانک از آب شهری موجود در دانشکده منابع طبیعی استفاده شد. جهت استقرار تانک آزمایشی از یک میز چهارپایه و یک‌لایه یونولیت استایروفوم عایق، استفاده گردید.

تانک آزمایش مورداستفاده یکی از تانک‌های موجود در آزمایشگاه است که قبلاً نیز در آن مطالعات زیست صدا و زیست‌شناختی رفتاری صورت گرفته بود و بعد از انجام این آزمایش نیز برای سایر مطالعات علمی مشابه مورداستفاده قرار خواهد گرفت.

از پایه‌ای برای نگهداری تجهیزات اندازه‌گیری صدا، و از هیدروفون به‌منظور دریافت امواج لرزه‌ای و تبدیل امواج صدای منتشرشده در آب به امواج برقی معادل آن استفاده شد. در روند آماده‌سازی لوازم، انتهای سیم هیدروفون را در آب به‌وسیله پایه‌ای، ثابت نگه داشتیم.

از دستگاه ضبط‌کننده به‌منظور ضبط صدا در آب استفاده شد. جهت جلوگیری از ایجاد اختلال ناشی از برق شهری از کابل



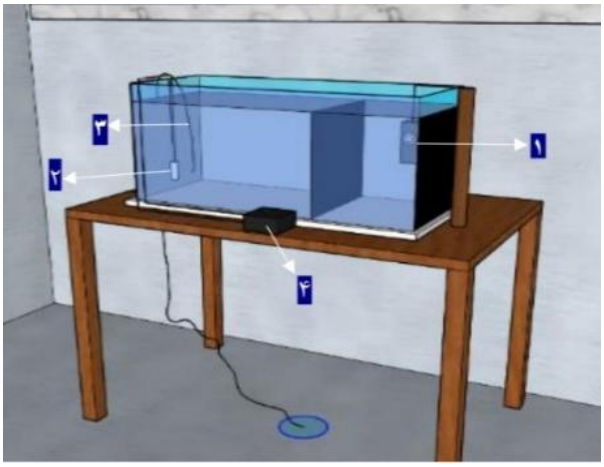
[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

ارث برای انتقال بسامد ۵۰ هرتز تولیدشده به زمین استفاده شد. به‌منظور پخش صدا داخل آب از بلندگوی بلوتوثی قابل‌حمل جِی‌بی‌اِل[1] نمونه جی‌اُ۲[2] ساخت کشور آمریکا استفاده شد. بلندگو نیز در محفظه ضد آب مخصوص قرار داده‌شد و به کمک یک قطعه‌سنگ (به‌منظور ایجاد تعادل و وزن کافی برای ملندن در زیرآب) در میانه‌ی ستون آبی در قسمت راست تانک قراردادیم به‌طوری‌که ارتفاع بلندگو از کف و دیواره، ۱۵ سانتی‌متر بود.

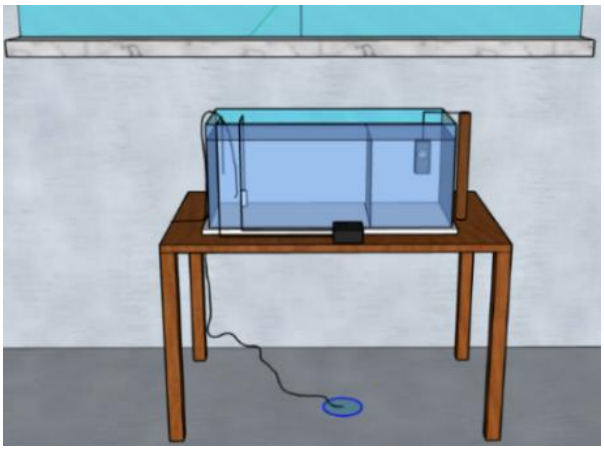
از یک تلفن همراه سامسونگ نمونه اِم۳۲[3] به‌منظور اتصال از طریق بلوتوث به بلندگو و پخش صدا استفاده شد؛ که از نهایت قدرت صدا آن یعنی ۱۰۰ درصد استفاده شد.

در ادامه فایل‌های ضبط‌شده توسط یک دستگاه لپ‌تاپ برند اِچ‌پی ساخت چین موردبررسی قرار گرفتند. تیمارهای صدا با استفاده از نرم‌افزارهای پردازش صدا آئوداسیتی[4] و آر[5] مورد تحلیل قرار گرفتند.

رسم نمودار و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل و اِس‌پی‌اِس‌اِس انجام شد. با توجه به اهمیت دقت در اندازه‌گیری صدا از منبع تغذیه‌ای باتری به‌جای برق شهری برای حذف بسامد ۵۰ هرتز استفاده شد.




**شکل ۱** نمای جانبی (کناری) از تانک آزمایشی مورداستفاده در این مطالعه و تجهیزات به‌کاررفته جهت سنجش و اندازه‌گیری صدا. (۱. گوینده جی بی ال؛ ۲. هیدروفون؛ ۳. سیم زمین و اتصالات؛ ۴. ضبط‌کننده صدا)



**شکل ۲** نمای روبرو (جلویی) از تانک آزمایش در آزمایشگاه زیست‌شناختی و زیست صدا، تالار تکثیر و پرورش ماهیان زینتی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان.

### ۲-۲. آماده‌سازی تیمارهای صدا

برای اندازه‌گیری شدت فشار صدا[6]، تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، پخش سکوت (پخش صدا زمینه بلندگو روشن) و پخش صدای افزایش‌یافته انتخاب شدند.

برای هر تیمار ۵ تکرار و هر تکرار طول مدت‌زمان پخش و ضبط ۵ ثانیه در نظر گرفته شد. مختصات مکانی نقطه مشترک مورداستفاده در ستون آب برای ضبط فایل‌های صدا در موقعیت وسط ستون آبی نزدیک به دیواره سمت راست بود.

تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش شامل تیمار اول: سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، شدت صدای آب اندازه‌گیری و ضبط شد. تیمار دوم: پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن) و شدت صدا در آب اندازه‌گیری و ضبط شد؛ و تیمار سوم: پخش صدای افزایش‌یافته با الگوی زمانی پیوسته که در این تیمار صدای تولیدشده از طریق بلندگو پخش و شدت صدا در آب اندازه‌گیری و ضبط شد، می‌شوند.

صدای شبیه‌سازی‌شده لازم برای پخش صدای زمینه و پخش صدا با استفاده از نرم‌افزار آئوداسیتی نسخه ۲.۳.۰ تولید و در تیمار دوم و سوم مورداستفاده قرار گرفت. تیمارهای مورداستفاده در این آزمایش عبارت‌اند از: سکوت (صدای زمینه) بلندگو

[1] JBL
[2] GO2
[3] M32
[4] Audacity
[5] R
[6] Sound pressure



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

خاموش، پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن) و پخش صدای افزایش‌یافته. الگوی زمانی صدای استفاده‌شده برای تیمار سوم از نوع پیوسته بوده است که در مطالعات قبلی اثر صدا بر آبزیان نیز مورداستفاده قرارگرفته بود [۲۳-۲۵].
دامنه بسامد تیمار صدا مورداستفاده در این آزمایش در بازه شنوایی گونه‌های ماهی‌های در آزمایش‌های قبلی رفتارشناختی بود.

### ۲-۳. تجزیه تحلیل داده‌های صدا

تمامی فایل‌های پخش‌شده صدا برای مدت‌زمانی یکسان ۵ ثانیه توسط دستگاه هیدروفون ضبط متصل به تاسکام-دی‌آر-۱۰۰اِم‌کا۲[1] و در مخزن ماهی در فرمت داتوِیو[2] طبق مطالعات قبلی ذخیره‌سازی شد [۲۶].
فایل‌های صدا ابتدا در نرم‌افزار آئوداسیتی ازنظر شکل ظاهری امواج و پراکنش انرژی در دامنه بسامدهای موردنظر بررسی شد[۲۴-۲۶]. در ادامه توسط نسخه ماشینی دست‌نویس‌شده در نرم‌افزار آر نسخه ۴.۱.۳ مقادیر عددی شدت صدا و نمودارهای تراکم (چگالی) طیف انرژی[3] تولید و به ثبت رسیدند [۲۶].
اختصاصاتی شامل شکل امواج، میزان انرژی صدا (تراکم طیف انرژی) و شدت صدا در هریک از تیمارهای سه‌گانه تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، پخش سکوت (پخش صدا زمینه بلندگو روشن) و پخش صدای افزایش‌یافته اندازه‌گیری و ثبت شدند.
برای تجزیه تحلیل آماری داده‌های صوتی از نرم‌افزار اِکسل[4] و اس‌پی‌اس‌اس[5] استفاده شد. بهنجار (نرمال) بودن داده‌ها (مقادیر شدت صدا اندازه‌گیری شده مطلق با تکرارهای ۵-گانه برای هر تیمار صدا) با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[6] بررسی شد.
پس از تائید آماری بهنجار بودن داده‌ها، از آزمون آنُوا[7] و در ادامه مقایسه جفتی تیمارها با استفاده از آزمون پست-هُک[8] مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۳. نتایج

در مطالعه‌ی حاضر، مؤلفه شدت صدا در سه تیمار مختلف شامل تیمار سکوت (صدای زمینه بلندگو خاموش)، تیمار پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن) و پخش صدای افزایش‌یافته بلندگو روشن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). در هر تیمار، مقادیر شدت صدا، برای هر نقطه مختصاتی یکسان و ثابت به تعداد پنج مرتبه تکرار شده‌اند.

| تیمار | شدت صوت | شماره فایل |
|---|---|---|
| سکوت | ۹۶٫۰۱۴۳۷ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۵۳ |
| | ۹۵٫۹۳۳۷۱ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۵۴ |
| | ۹۶٫۰۷۵۱۵ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۵۵ |
| | ۹۶٫۰۰۴۵۷ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۵۶ |
| | ۹۶٫۱۱۸۵۱ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۵۷ |
| پخش سکوت | ۹۶٫۱۰۷۱۸ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۵۸ |
| | ۹۵٫۹۷۱۷۵ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۵۹ |
| | ۹۶٫۰۵۸۸۵ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۰ |
| | ۹۶٫۲۲۶۶۳ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۱ |
| | ۹۶٫۲۸۳۲۱ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۲ |
| پخش صدا | ۹۶٫۴۴۰۰۹ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۳ |
| | ۹۶٫۳۹۳۷۸ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۴ |
| | ۹۶٫۴۸۰۴۴ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۵ |
| | ۹۶٫۴۲۶۶۳ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۶ |
| | ۹۶٫۲۲۹۶۲ | ۲۳۰-۲۲۲-۱۷۶۷ |

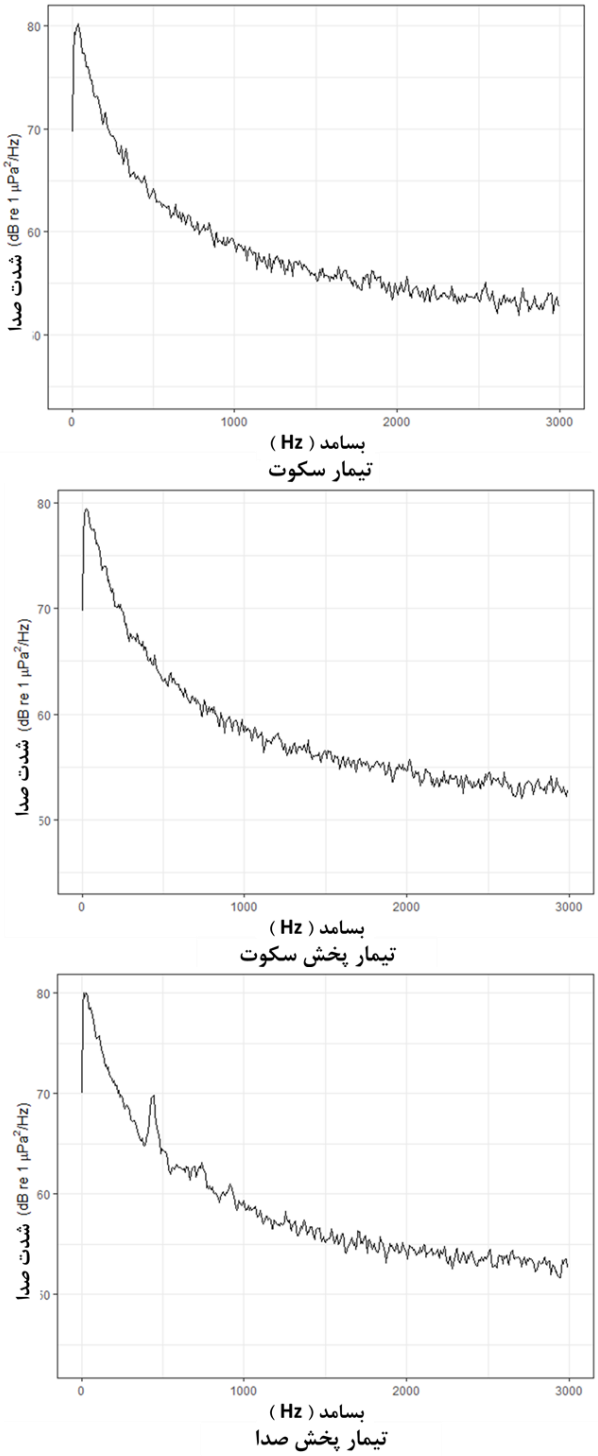
**جدول ۱** مشخصات تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن) و پخش صدای افزایش‌یافته عبارت‌اند از: شدت فشار صدای اندازه‌گیری‌شده (Bre µPa ۱) و شماره‌های فایل‌های ضبط‌شده هستند.

در نمودارهای شکل ۳ تفاوت شدت صدا به واحد دسی‌بل در دامنه بسامدهای ۰ تا ۳۰۰۰ هرتز در تیمارهای مختلف صدا نشان داده‌شده است. همان‌طور که قابل‌مشاهده است فقط در تیمار پخش صدای افزایش‌یافته بلندگو روشن بین بسامدهای ۱۰۰ تا ۵۰۰ هرتز افزایش شدت صدا قابل‌شناسایی و مشهود است. این در حالی است که در تیمارهای صدای زمینه بلندگو خاموش- سکوت=شاهد این افزایش بسامد دیده نمی‌شود.

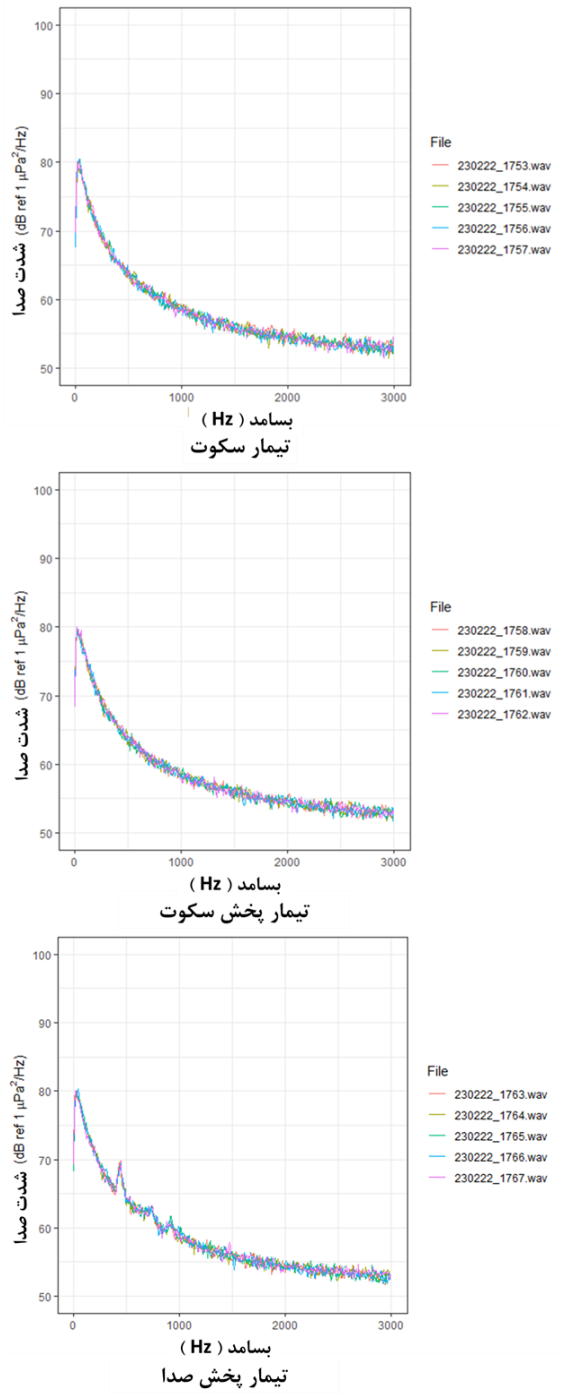
[1] TASCAM-DR-100MK2
[2] .wav
[3] PSD; Power Spectral Density
[4] Excel
[5] SPSS
[6] Kolmogorov-Smirnov
[7] ANOVA
[8] Post-hoc



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]



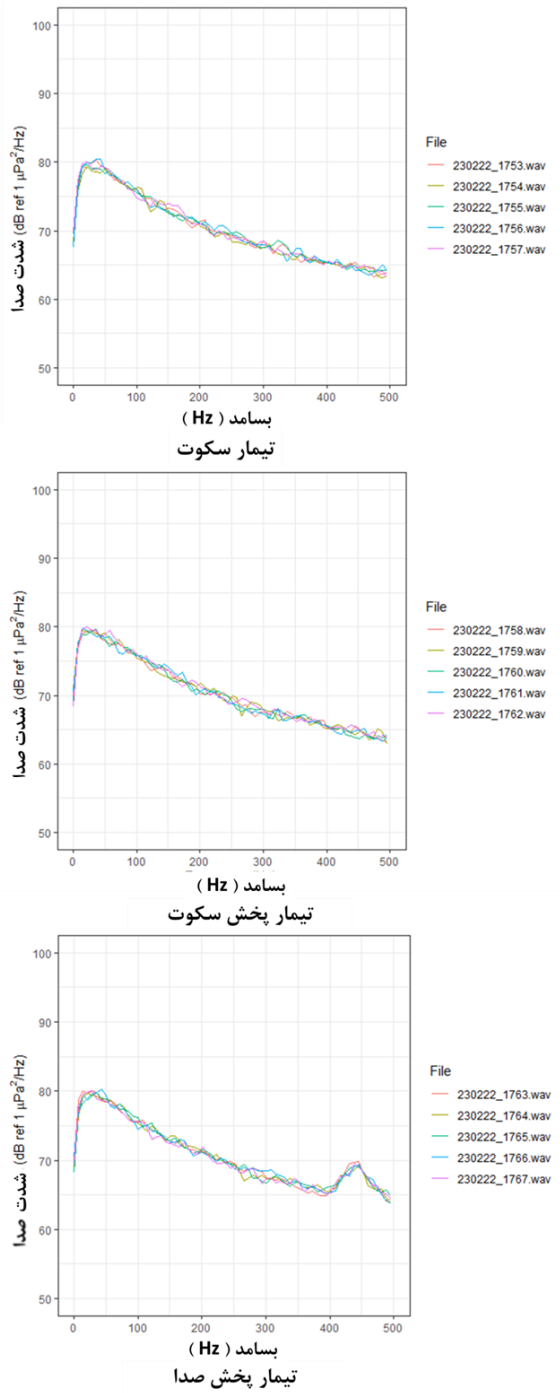

**شکل ۳** توزیع تراکم طیف انرژی و شدت صدا در دامنه بسامدی به ترتیب از بالا به پایین تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن) و پخش صدا افزایش‌یافته نشان داده‌شده است.



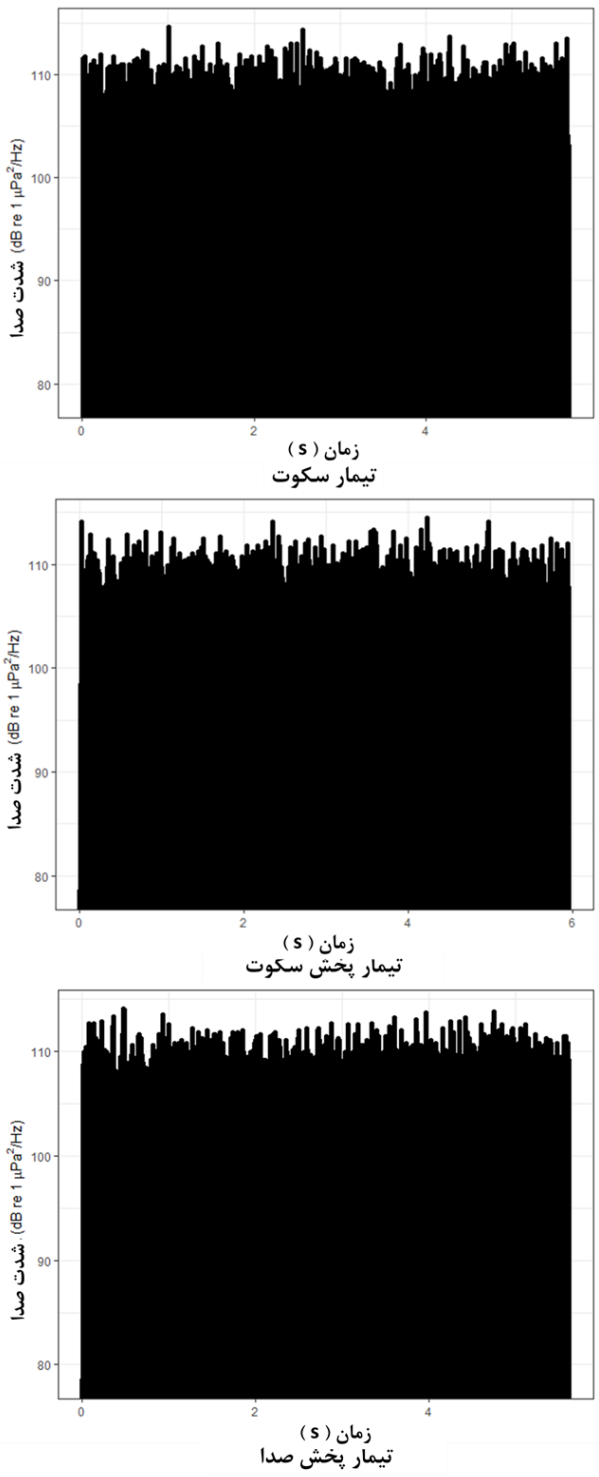

**شکل ۴** توزیع تراکم طیف انرژی و شدت صدا در دامنه بسامدی به ترتیب از بالا به پایین تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن) بلندگو روشن، پخش صدای افزایش‌یافته بلندگو روشن نشان داده‌شده است. تعداد ۵ فایل صدا برای هر تیمار جهت پایش دقت‌های کالیبراسیون و اندازه‌گیری‌ها نشان داده‌شده است. دامنه بسامدی ۳۰۰۰-۰ هرتز نشان داده‌شده است.



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]



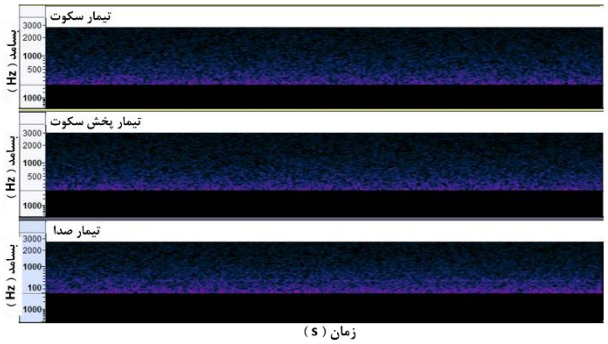

**شکل ۵** توزیع تراکم طیف انرژی و شدت صدا در دامنه بسامدی به ترتیب از بالا به پایین تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن) و پخش صدا افزایش‌یافته ارائه شده‌اند. تعداد ۵ فایل صدا برای هر تیمار جهت پایش دقت‌های کالیبراسیون و اندازه‌گیری‌ها نشان داده‌شده‌اند. دامنه بسامدی ۰-۵۰۰ هرتز نشان داده‌شده است.




**شکل ۶** نمای ساختار شکل الگوی موج به ترتیب از بالا به پایین شامل تیمارهای سکوت (صدای زمینه بلندگو خاموش)، پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن)، پخش صدا افزایش‌یافته بلندگو روشن از نوع پیوسته در شرایط آزمایش نشان داده‌شده‌اند.



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]




**شکل ۷** نمای ساختار موج‌نگاره و پخش انرژی در بسامد به ترتیب از بالا به پایین تیمارهای سکوت (صدای زمینه بلندگو خاموش)، پخش سکوت (پخش صدای زمینه بلندگو روشن)، پخش صدای افزایش‌یافته بلندگو روشن ارائه‌شده‌اند.

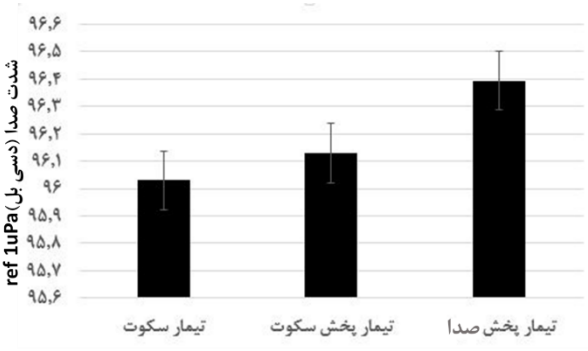
در شکل ۴ و ۵ توزیع تراکم طیف انرژی و شدت صدا در دامنه بسامدی به ترتیب از بالا به پایین تیمارهای صدای زمینه بلندگو خاموش- سکوت = شاهد، پخش صدای زمینه بلندگو روشن، پخش صدای افزایش‌یافته بلندگو روشن به ترتیب برای دامنه بسامدهای ۰ تا ۳۰۰۰ هرتز و برای بزرگنمایی و وضوح بیش‌تر دامنه بسامد ۰ تا ۵۰۰ هرتز نشان داده‌شده‌اند.

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، توزیع تراکم طیف انرژی با ۵ تکرار کاملاً برای هر یک از تیمارهای صدای سه‌گانه انطباق و همپوشانی دارد که نشان‌دهنده صحت داده‌های صدای ضبط‌شده برای هر تیمار است. برای بسامد نزدیک به ۴۵۰ هرتز، به‌طور واضح، افزایش شدت صدای ناشی از منبع صدا نمایان است. در شکل ۶ ساختار موج صدا در تیمارهای سه‌گانه نشان داده‌شده است و در شکل ۷ اسپکتوگرام (طیف نگاره) تیمارهای سه‌گانه صدا نشان داده‌شده است.

با توجه به سه دسته از روش‌های مصورسازی داده‌های صدای ارائه‌شده در این مقاله مشتمل‌بر توزیع تراکم طیف انرژی (شکل‌های ۴ و ۵)، ساختار شکل الگوی موج (شکل ۶) و اسپکتروگرام-طیف نگاره (شکل ۷)، به نظر می‌رسد که شکل‌های ۴ و ۵ یعنی توزیع تراکم طیف انرژی تفاوت‌ها و تشابه‌های تیمارهای صدا را واضح‌تر نمایان می‌کنند.

میانگین شدت صدای اندازه‌گیری‌شده برای تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش ۰٫۰۷±۹۶٫۰۳، پخش سکوت (پخش صدای زمینه) بلندگو روشن ۰٫۱۲±۹۶٫۱۳ و پخش صدای افزایش‌یافته بلندگو روشن ۰٫۱۰±۹۶٫۴۰ به ثبت رسید.

نتایج آماری آزمون آنُوا نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای صدا بوده‌اند (F=۱۷٫۵۹۶، df=۲ و p<۰٫۰۰۱). در ادامه مقایسه جفتی تیمارها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار تیمار پخش صدا با تیمارهای پخش سکوت (p<۰٫۰۰۱) و سکوت (p<۰٫۰۰۱) است (شکل ۸). تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای پخش سکوت و سکوت مشاهده نگردید (p>۰٫۰۵).




**شکل ۸** مقادیر شدت صدای ثبت‌شده برای هریک از تیمارهای سکوت (صدای زمینه) بلندگو خاموش، پخش سکوت (پخش صدای زمینه) بلندگو روشن، پخش صدای افزایش‌یافته بلندگو روشن نشان داده‌شده‌اند. مقادیر متفاوت a و b بیانگر تفاوت معنی‌داری است.

## ۴. بحث

به دلایل عملی و کاربردی اغلب لازم است که آزمایش‌های قرار گرفتن در معرض صدا بر گونه‌های آبزیان در مخازن و تانک‌ها و یا استخرهایی انجام شود که ممکن است ابعادی از کم‌تر از یک متر تا چند ده متر نیز داشته باشد [۴۱].

بخش‌های مرزی چنین تانک‌هایی تقریباً همیشه به‌شدت نسبت به منابع صدای در زیرآب انعکاس ایجاد می‌کنند که خود منجر به تولید میدان‌های صدای ثانویه‌ای می‌شود. این میدان‌های صدای ثانویه ازنظر مکانی در محیط آبی محدود به روش‌های غیرمنتظره‌ای تغییر می‌کنند.

بنابراین رابطه بین دو کمیت صوتین[1] فشار صدا و سرعت اندازه حرکت ذرات[2] صدا در محیط‌های محصور آبی کاملاً متفاوت از

[1] Acoustic quantity

[2] Particle motion



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

محیط‌های طبیعی آبی است که گونه‌های آبزیان موردمطالعه در آن زندگی طبیعی خود رادارند. به همین علت یک موضوع مهم در زمان توصیف و تعیین صداگستره[1] و بررسی صداهای تولیدشده توسط منابع صدای مشخص، نحوهٔ تعریف و شرح مفهوم صدا می‌باشد که باید در انجام مطالعات بعدی در نظر گرفته شود [۴۲].

در مطالعات قبلی دیگر نیز نشان داده‌شده است که لایه‌های مرزی شامل بخش فوقانی مرتبط با سطح مایع آب‌وهوا و لایه‌های مرزی دیواره مخازن و تانک‌های آب و لایه‌مرزی سطح تحتانی مایع آب و کف مخزن و تانک آب نمایانگر مقدار فشار صدا غیر صفر و اندک مرتبط با حرکت ذرات صدا در نزدیک لایه‌های مرزی است [۱-۲ و ۴۱ و ۴۳ و ۴۴].

از طرفی در کنار اهمیت طرح پیچیدگی‌های صداگستره در محیط‌های محصور و بسته با توجه به موقعیت مکانی اندازه‌گیری و جنس تانک و مخزن‌های نگهداری آب، بررسی و اندازه‌گیری دقیق هریک از بخش‌های صدا شامل فشار صدا، اندازه حرکت ذره و یا لرزش نیز دارای اهمیت است [۶].

به‌طوری‌که اخیراً در کنار مبحث تعیین صداگستره، بررسی رعشه‌گستره[2] نیز مطرح شده‌است که برای بسیاری از گونه‌های جانوری که با بخش‌های کف بستر به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم ارتباط دارند بسیار اهمیت دارد [۴۵]. این کمیت صوتین رعشه به‌عنوان هرگونه حرکتی که منجر به تولید صدا می‌شود، اطلاق می‌گردد.

برخی از منابع صدای ناشی از فعالیت‌های انسانی همچون چکش‌های حفاری، ماشین‌های رسوب برداری تحقیقات لرزه‌نگاری و یا حتی یک بلندگوی پخش صدا هم می‌توانند تولید ارتعاش کنند [۴۶].

این داده‌های اندازه‌گیری‌شده که وضعیت سه-بعدی و پراکنش مکانی صدا را در محیط محصور مشخص می‌کنند با توجه به گونه‌های آبزی که در آن‌ها نگهداری می‌شوند می‌توانند در سازوکار و نحوه دریافت نیز عملکردی اختصاصی داشته باشند.

تمامی ماهی‌ها تولنایی دریافت اندازه ذرات صدا را که کمیتی جهت‌دار است دارا هستند ولی فقط ماهیانی توانایی دریافت فشار صداها را دارند که دارای اندام کیسه شنا و یا ساختارهای پرشده از گاز در داخل بدن خود هستند. به‌طور ویژه، گونه‌هایی که موقعیت اندام کیسه شنای آن‌ها به ساختار گوش داخلی نزدیک شده است که وظیفه تبدیل کمیت فشار صدا به حرکت ذرات را دارند. بنابراین، صِرف داشتن اندام کیسه شنا برای دریافت فشار صدا کافی نیست [۴۷].

این در حالی است که گونه‌های دارای زندگی نزدیک به بستر توانایی اختصاصی در دریافت لرزش ناشی از منابع پخش صدا را هم دارا شده‌اند [۶]. بنابراین، بیان اهداف پژوهش و تعیین فرضیات در کنار انتخاب گونه آبزی موردمطالعه می‌تواند در برآورد و ارزیابی انتخاب اولویت‌های وضعیت صداگستره کمک بزرگی باشد.

پخش تیمارهای صدا و شاهد با استفاده از دستگاه پخش‌کننده جهت جلوگیری از ایجاد خطا و شبه تیمار تکرار ضروری است. در مطالعات قبلی دو دسته‌بندی جهت به‌کارگیری تیمار صدای زمینه و سکوت به‌عنوان تیمار شاهد مورداستفاده قرارگرفته‌اند که قابل استناد هستند.

دسته اول تولید تیمار صدا و شاهد با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی صداپردازی و دانستن جزییات بسامدها و شدت صدای پخش‌شده توسط بلندگو به‌عنوان تیمار شاهد و استفاده از سایر تیمارهای صدا برای مقایسه نتایج تغییرات رفتاری است [۲۶].

در این روش استفاده و تولید یک فایل کامل به‌هم‌پیوسته شامل تیمارهای صدا و تیمار شاهد که توسط بلندگو به‌صورت پیوسته در یک فایل پخش می‌شود. دسته دوم ضبط صدای زمینه یا تیمار سکوت به‌عنوان تیمار شاهد در محل تانک مورداستفاده در آزمایش و پخش فایل ضبط‌شده به همراه سایر تیمارهای صدا است [۴۸].

برای مثال [۴۰] به بررسی مقایسه‌ای اثرات صدا بر رفتار تغذیه‌ای چهار خانواده از ماهی‌ها در شرایط مهارشده آزمایشی و محیط طبیعی پرداختند. در این تحقیق چهار تیمار صدا مورداستفاده قرار گرفتند که شامل تیمار صدای ضبط‌شده قایق‌های موتوری، تیمار صدای تولیدشده توسط نرم‌افزار و دو تیمار صدای پخش سکوت یکی شرایط بلندگو روشن و دیگری شرایط بلندگو

[1] Soundscape

[2] Vibroscape



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

خاموش بوده است. اضافه کردن تیمار صدای سکوت با روشن بودن بلندگو به آن‌ها این اجازه را داد تا اثر احتمالی مداخلات برقی را منقاد و مهار کنند. این در حالی است که تیمار سکوت که بلندگو خاموش بوده است به‌عنوان تیمار پایه شاهد در نظر گرفته شد.

مشاهدات آن‌ها نشان دادند که تعداد دفعات تغذیه‌ای و شنای نامنظم در ماهی‌ها برای تیمارهای پخش سکوت بلندگوی روشن و پخش سکوت بلندگوی خاموش تفاوت معنی‌داری نداشته است. این در حالی است که رفتارهای تغذیه‌ای و شناگری ارزیابی‌شده ماهی‌ها برای تیمارهای صدای ضبط‌شده قایق موتوری و صدای تولیدشده توسط نرم‌افزار با این تیمارهای پخش سکوت تفاوت معنی‌داری را نشان دادند که با نتایج کمی شدت فشار صدای این پژوهش در تیمار پخش صدا و دو تیمار پخش صدای زمینه بلندگو روشن و تیمار سکوت همخوانی دارد.

هم‌چنین، تفاوت معنی‌داری در رفتارهای شناگری و تغذیه‌ای ماهی‌ها در بین تیمارهای صدای سکوت با روشن بودن بلندگو و تیمار سکوت که بلندگو خاموش شده بود دیده نشد.

نویسندگان مقاله اعلام آمادگی خود را جهت همکاری با سایر محققین درزمینه صوتیّات، فیزیک صدا و علوم شیلاتی در جهت مشارکت و انجام مطالعات پایه‌ای طراحی گسترده شیوه کار و تعیین پروتکل‌های سنجش کمیت‌های صدا در محیط آزمایشگاهی و مطالعه آبزیان اعلام می‌دارند.

در کنار اندازه‌گیری فشار صدا و سه-بعدی‌سازی وضعیت تانک ماهی در زمان پخش صدا، انجام مطالعات بین‌رشته‌ای و همکاری‌های در سطح ملی متخصصین علوم مرتبط با این بخش می‌تواند گام مهمی در توسعه و پیشرفت در زمینه صوتیّات و زیست‌صوتیّات در محیط‌های آبی و گونه‌های جانوری داشته باشد. به طوریکه از دهه‌های گذشته انجام همکاری علمی و چاپ مقالات حاصل از پژوهش‌های مشترک و بین‌رشته‌ای در پژوهش‌های علمی به‌صورت یک اصل پذیرفته‌شده است [۴۹ و ۵۰].

پیشنهاد می‌گردد که در اندازه‌گیری‌های صدا و مطالعات زیست صدا بر گونه‌های آبزیان دقیقاً تمامی جزییات مختصات تانک یا مخزن آزمایش، محل قرارگیری دستگاه اندازه‌گیری صدا و محل قرار گرفتن بلندگو و آبزی موردنظر حتماً آورده شود. جزییات کامل از نحوه انجام آزمایش می‌توانند در تجزیه‌وتحلیل داده‌های صوتی و مشاهدات رفتاری مربوط به گونه موردنظر آبزی بسیار اثربخش و دارای اهمیت باشند.

هم‌چنین، علاوه بر اندازه‌گیری کمّیت فشار صدا و سه-بعدی‌سازی تغییرات شیب صدا در محیط تانک و مخزن آبی، دانستن تغییرات و اندازه‌برداری حرکت ذرات نیز می‌تواند در تفسیر و تحلیل شرایط صوتی زیرآب به‌طور تکمیلی ارزنده باشد.

## ۵. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دادند که اندازه‌گیری کمیت فشار صدا در یک تانک ماهی با موفقیت اجرایی شده و قابل مستندسازی است. هم‌چنین، تفاوتی ازنظر میزان شدت فشار صدا در تیمارهای پخش سکوت (صدای زمینه) با استفاده از بلندگو و تیمار سکوت (صدای زمینه) بدون پخش صدا توسط بلندگو را نشان داد. این در حالی بود که هر دو تیمار نام‌برده ازنظر میزان شدت فشار صدا تفاوت مشخصی با تیمار پخش صدا نشان دادند. با توجه به اینکه تمامی ماهی‌ها همانند بسیاری از بی‌مهرگان حساس به‌اندازه حرکت ذرات صدا می‌باشند، هم‌چنین بسیاری از ماهی‌ها و بی‌مهرگان به‌طور اختصاصی فقط به تغییرات اندازه حرکت ذرات صدا حساس بوده و توانایی دریافت فشار صدا را ندارند.

بنابراین، اندازه‌گیری اندازه حرکت ذرات صدا برای مطالعه و بررسی زیست صدا و توانایی‌های استفاده از صدا برای این‌گونه‌ها امری لازم و ضروری است. البته، لازم به ذکر است که اصطلاح علمی " حساسیت" آبزیان به صدا و روش‌های دریافت کمیت‌های صوتی توسط آبزیان نیاز به توضیح، مطالعه و پژوهش بیش‌تری دارد.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان از داوران محترم که در زمینه اصلاح و ویرایش علمی و ادبی مقاله پیشنهادهای ارزشمندی را ارائه نمودند کمال تشکر را دارند. هم‌چنین، از دانشگاه گیلان به جهت تأمین محل انجام آزمایش و پژوهش حاضر تشکر می‌گردد.



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

## تضاد منافع

نویسندگان مقاله هیچ منافع مالی یا روابطی که بتواند بر انتشار این مقاله تأثیرگذار باشد ندارند.

## فهرست منابع

[1] A. Parvulescu, W. Tavolga, "Problems of Propagation and Processing", Marine Bio-Acoustics, vol. 1, pp. 87-100, 1964.
[2] A. Parvulescu, "The Acoustics of Small Tanks", Marine Bio-Acoustics, vol. 2, pp. 7-13, 1967.
[3] H. Slabbekoorn, N. Bouton, I. Van Opzeeland, A. Coers, C. ten Cate, A. Popper, "A Noisy Spring: The Impact of Globally Rising Underwater Sound Levels on Fish", Trends in Ecology & Evolution, vol. 25, no. 7, pp. 419-427, 2010.
[4] A. Hawkins, "Underwater Sound and Fish Behaviour", in Behaviour of Teleost Fishes , edited by T. Pitcher, Chapman and Hall, London, 1993.
[5] A. Popper, M. Salmon, K. Horch, "Acoustic detection and communication by decapod crustaceans", Journal of Comparative Physiology A, Vol. 187, pp. 83–89, 2001.
[6] A. Popper, M. Salmon, K. Horch, "Acoustic detection and communication by decapod crustaceans", Journal of Comparative Physiology A, Vol. 187, pp. 83–89, 2001.
[7] W. Tavolga, "Sound production and detection", Fish Physiology, edited by W. S. Hoar and D. J. Randall (Academic Press, New York), pp. 135–205, 1971.
[8] A. Hawkins, A. Myrberg, "Hearing and sound communication underwater", Bioacoustics, A Comparative Approach, edited by B. Lewis (Academic Press, New York), pp. 347–405, 1983.
[9] F. Ladich, H. Winkler, "Acoustic communication in terrestrial and aquatic vertebrates", Journal of Experimental Biology, Vol. 220, No. 13, pp. 2306–2317, 2017.
[10] A. Looby, K. Cox, S. Bravo, R. Rountree, F. Juanes, L. K. Reynolds, C. W. Martin, "A quantitative inventory of global soniferous fish diversity", Reviews in Fish Biology and Fisheries, Vol. 32, No. 2, pp. 581–595, 2022.
[11] A. Rice, S. Farina, A. Makowski, "Evolutionary Patterns in Sound Production across Fishes", Ichthyology & Herpetology, Vol. 110, 2022.
[12] Y. Neo, J. Hubert, H. Winter, H. Slabbekoorn, C. Ten Cate, "From indoor to outdoor: Behavioural response of fish to noise exposure of different temporal structures", In InFront. Marine Science Conference Abstract: XV European Congress of Ichthyology, 2015.
[13] Y. Neo, J. Hubert, L. Bolle, H. Winter, C. Ten Cate, H. Slabbekoorn, "Sound exposure changes European seabass behaviour in a large outdoor floating pen: Effects of temporal structure and a ramp-up procedure", Environmental Pollution, Vol. 214, pp. 26–34, 2016.
[14] Y. Neo, J. Hubert, L. Bolle, H. Winter, H. Slabbekoorn, "European seabass respond more strongly to noise exposure at night and habituate over repeated trials of sound exposure", Environmental Pollution, Vol. 239, pp. 367–374, 2018.
[15] J. Hubert, J. Campbell, J. Van Der Beek, M. Den Haan, R. Verhave, L. Verkade, H. Slabbekoorn, "Effects of broadband sound exposure on the interaction between foraging crab and shrimp–A field study", Environmental Pollution, Vol. 243, pp. 1923–1929, 2018.
[16] J. Hubert, D. Wille, H. Slabbekoorn, "Exploring effects of sound on the time budget of fishes: An experimental approach with captive cod", Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 37, No. 1, 2019.
[17] J. Hubert, J. Campbell, H. Slabbekoorn, "Effects of seismic airgun playbacks on swimming patterns and behavioural states of Atlantic cod in a net pen", Marine Pollution Bulletin, Vol. 160, pp. 111680, 2020.
[18] J. Hubert, J. Van Bemmelen, H. Slabbekoorn, "No negative effects of boat sound playbacks on olfactory-mediated food finding behaviour of shore crabs in a T-maze", Environmental Pollution, Vol. 270, pp. 116184, 2021.
[19] J. Hubert, E. Booms, R. Witbaard, H. Slabbekoorn, "Responsiveness and habituation to repeated sound exposures and pulse trains in blue mussels", Journal of Experimental Marine

[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

[28] S. Shafiei Sabet, S. Azarm Karnagh, F. Zahrani Azbari, "Experimental test of sound and light exposure on water flea swimming behaviour", Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 37, No. 1, 2019.
[29] S. Shafiei Sabet, F. Alizadeh Lademakhi, "Measuring the spatial distribution of sound pressure in a fish tank under laboratory conditions", Journal of Acoustical Society of Iran, Vol. 10, No. 1, pp. 13–22, 2022.
[30] M. Aminifard, S. Shafiei Sabet, "The importance of behavioural studies and bioacoustics of aquatic animals", Science Cultivation, Vol. 12, No. 2, pp. 191–197, 2022.
[31] R. Fay, A. Popper, "Hearing in Fishes and Amphibians: An Introduction", Comparative Hearing: Fish and Amphibians, pp. 1–14, 1999.
[32] J. Sisneros, "Fish hearing and bioacoustics: an anthology in honor of Arthur N. Popper and Richard R. Fay", 2015.
[33] H. Slabbekoorn, "Noise pollution", Current Biology, Vol. 29, No. 19, pp. 957-960, 2019.
[34] J. Greenhalgh, M. Genner, G. Jones, C. Desjonquères, "The role of freshwater bioacoustics in ecological research", Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, Vol. 7, No. 3, pp. 1416, 2020.
[35] R. Putland, A. Mensinger, "Exploring the soundscape of small freshwater lakes", Ecological Informatics, Vol. 55, pp. 101018, 2020.
[36] C. Erbe, R. McCauley, A. Gavrilov, "Characterizing Marine Soundscapes", The Effects of Noise on Aquatic Life II, pp. 265–271, 2016.
[37] J. McWilliam, A. Hawkins, "A comparison of inshore marine soundscapes", Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 446, pp. 166–176, 2013.
[38] A. Popper, R. Fay, C. Platt, O. Sand, "Sound Detection Mechanisms and Capabilities of Teleost Fishes", Sensory Processing in Aquatic Environments, pp. 3–38, 2003.
[39] A. Popper, J. Fewtrell, M. Smith, R. McCauley, "Anthropogenic sound: effects on the behavior and physiology of fishes", Marine Technology Society Journal, Vol. 37, No. 4, pp. 35–40, 2004.
Biology and Ecology, Vol. 547, pp. 151668, 2022.
[20] J. Hubert, A. Van Der Burg, R. Witbaard, H. Slabbekoorn, "Separate and combined effects of boat noise and a live crab predator on mussel valve gape behavior", Behavioral Ecology, Vol. 34, No. 3, pp. 495–505, 2023.
[21] J. Hubert, J. Demuynck, M. Remmelzwaal, C. Muñiz, E. Debusschere, B. Berges, H. Slabbekoorn, "An experimental sound exposure study at sea: No spatial deterrence of free-ranging pelagic fish", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 155, No. 2, pp. 1151–1161, 2024.
[22] R. Mohsenpour, S. Shafiei Sabet, "Spatial distribution of zebrafish (Danio rerio) as a behavioral index of stress in response to sound", Journal of Aquatic Physiology and Biotechnology, Vol. 9, No. 3, pp. 23–46, 2021.
[23] R. Mohsenpour, S. Shafiei Sabet, "The effect of increased sound levels with different temporal patterns on swimming behaviour of Zebrafish (Danio rerio)", Journal of Natural Environment, Vol. 73, No. 4, pp. 805–818, 2021.
[24] S. Azarm-Karnagh, L. López Greco, S. Shafiei Sabet, "Annoying noise: effect of anthropogenic underwater noise on the movement and feeding performance in the red cherry shrimp, Neocaridina davidi", Frontiers in Ecology and Evolution, Vol. 11, pp. 1091314, 2023.
[25] S. Azarm-Karnagh, L. López Greco, S. Shafiei Sabet, "Anthropogenic Noise Impacts on Invertebrates: Case of Freshwater Red Cherry Shrimp (Neocaridina davidi)", In: A. N. Popper, J. Sisneros, A. D. Hawkins, F. Thomsen (eds) The Effects of Noise on Aquatic Life. Springer Cham, pp. 1–12, 2023.
[26] S. Shafiei Sabet, N. Yik Yaw, H. Slabbekoorn, "The effect of temporal variation in sound exposure on swimming and foraging behaviour of captive zebrafish", Animal Behaviour, Vol. 107, pp. 49–60, 2015.
[27] S. Shafiei Sabet, K. Wesdorp, J. Campbell, P. Snelderwaard, H. Slabbekoorn, "Behavioural responses to sound exposure in captivity by two fish species with different hearing ability", Animal Behaviour, Vol. 116, pp. 1–11, 2016.



[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]

[40] R. Pieniazek, M. Mickle, D. Higgs, "Comparative analysis of noise effects on wild and captive freshwater fish behaviour", Animal Behaviour, Vol. 168, pp. 129–135, 2020.
[41] A. Duncan, K. Lucke, C. Erbe, R. McCauley, "Issues associated with sound exposure experiments in tanks", Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 27, No. 1, 2016.
[42] A. Hawkins, A. Pembroke, A. Popper, "Information gaps in understanding the effects of noise on fishes and invertebrates", Reviews in Fish Biology and Fisheries, Vol. 25, pp. 39–64, 2015.
[43] T. Akamatsu, T. Okumura, N. Novarini, H. Yan, "Empirical refinements applicable to the recording of fish sounds in small tanks", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 112, No. 6, pp. 3073–3082, 2002.
[44] T. Okumura, T. Akamatsu, H. Yan, "Analyses of small tank acoustics: empirical and theoretical approaches", Bioacoustics, Vol. 12, No. 2, pp. 330–332, 2002.
[45] L. Roberts, M. Elliott, "Good or bad vibrations? Impacts of anthropogenic vibration on the marine epibenthos", Science of the Total Environment, Vol. 595, pp. 255–268, 2017.
[46] A. Hawkins, R. Hazelwood, A. Popper, P. Macey, "Substrate vibrations and their potential effects upon fishes and invertebrates", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 149, No. 4, pp. 2782–2790, 2021.
[47] R. Fay, A. Popper, "Modes of stimulation of the teleost ear", Journal of Experimental Biology, Vol. 62, No. 2, pp. 379–387, 1975.
[48] I. Voellmy, J. Purser, D. Flynn, P. Kennedy, S. Simpson, A. Radford, "Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms", Animal Behaviour, Vol. 89, pp. 191–198, 2014.
[49] J. Adams, "The rise of research networks", Nature, Vol. 490, No. 7420, pp. 335–336, 2012.
[50] A. Popper, "Colleagues as friends", ICES Journal of Marine Science, Vol. 77, No. 6, pp. 2033–2042, 2020.

[ Downloaded from joasi.ir on 2026-06-01 ]