

(Research Article)
Measuring the spatial distribution of sound pressure in a fish tank under laboratory conditions

S. Shafiei Sabet*, F. Alizadeh Lademakhi

Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan

Received: 2021/12/26, Accepted: 2022/07/09
DOR 20.1001.1.23455748.1401.10.1.2.1

Abstract

Sound-related behavioural studies explore the effects of sound on underwater animals in tanks under controlled laboratory conditions. In this study, we aim to assess sound pressure distributions and gradients in a small-sized water-filled tank that can be used in behavioural studies to examine anthropogenic sound effects on fish and invertebrates and to raise awareness among scientists in the field of underwater acoustics. To assess sound pressure, a water-filled fish tank was used with dimensions of 35*30*25cm; water depth 20cm. The playedback sound was a white noise file with continuous temporal pattern (200-4000 Hz). The results of the sound pressure gradient in the fish tank showed that in the side wall near the speaker location, there was a sharp sound pressure gradient. Moreover, near all the walls of the fish tank, despite moving away from the sound source, the walls of the fish tank played a role as a secondary source of sound and induced elevation of the sound pressure levels. Oscillation of sound levels and the lack of a clear gradient of sound in the longitudinal direction in the fish tank may be due to the presence of standing waves and related to the dimensions of the fish tank. It is essential to assess the acoustic field in any tank in which sound playbacks and bioacoustics are to be carried out.

Keywords: Fish tank, Distribution, Sound pressure, Behavioural biology, Aquatic animal.

pp. 13-22 (In Persian)

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

اندازه‌گیری پراکنش مکانی فشار صدا در تانک ماهی تحت شرایط آزمایشگاهی

سعید شفیعی ثابت^{*}، فاطمه علیزاده لادمخی

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۸

چکیده

مطالعات رفتارشناسی وابسته به امواج صوتی برای بررسی اثر موج صوتی بر گونه‌های جانوری آبزی در تانک و در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی انجام می‌گیرد. در این مطالعه، اهداف ما بررسی پراکنش فشار صوتی و شیب‌های صوتی در یک تانک کوچک بود که برای انجام مطالعات رفتارشناسی اثر امواج صوتی بر رفتار ماهی و بی‌مهرگان آبزی و همچنین افزایش آگاهی محققین در زمینه صوتیات زیرآب استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری فشار صوتی، از یک تانک ماهی به ابعاد ۲۵ در ۳۰ در ۳۵ سانتی‌متر و عمق آبیگری ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. الگوی صوتی پخش‌شده از نوع پیوسته در دامنه بسامدی ۲۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز می‌باشد. نتایج شیب فشار صوتی در تانک ماهی نشان داد که در دیواره جانبی نزدیک به محل استقرار بلندگو شیب فشار صوتی بالا بود. علاوه بر این، در نزدیکی تمامی دیواره‌های تانک ماهی با وجود دور شدن از منبع صوتی، به دلیل نقش دیواره‌های تانک ماهی به عنوان منبع ثانویه صوتی تراز فشار صوتی افزایش پیدا کرد. نوسانات سطوح صوتی و عدم وجود شیب صوتی واضح در جهت محور طولی در تانک‌ماهی می‌تواند به دلیل وجود امواج ایستاده پایا و ابعاد تانک‌ماهی باشد. ارزیابی میدان صوتی در مخازنی که در آن پخش صدا و زیست‌صوتیات انجام می‌شود ضروری است.

کلیدواژه‌ها: تانک‌ماهی، پراکنش، فشار صدا، زیست‌شناختی رفتاری، جانوران آبزی.

۱. مقدمه

می‌باشند. برای مثال امواج صوتی تولیدشده در نتیجه باز و بسته‌شدن دره‌های محیط آزمایشگاهی و سالن‌های نگهداری آبزیان، حرکت کارکنان نگهداری برای تغذیه و غذادهی آبزیان، تجهیزاتی هم‌چون پمپ‌های هوادهی، دستگاه‌های غذادهی خودکار و سامانه‌های فیلتراسیون (تصفیه آب) هم‌چنین تمامی لوازم و تجهیزاتی که به نوعی منبع تغذیه‌ای برقی دارند به صورت بالقوه می‌توانند توسط ماهی‌ها و سایر آبزیان دریافت شوند [۱]. این دسته از امواج صوتی پس از انتقال از محیط هوا به داخل آب و با لرزش‌های منتقل‌شده به محیط آبی معمولاً با دامنه شنوایی بسیاری از گونه‌های آبزیان هم‌پوشانی دارند. با توجه به میزان شدت موج صوتی و فاصله گونه‌های آبزی موردنظر از منبع صوتی، اثرات متنوع و در دامنه‌ای گسترده بر بسیاری از آبزیان گزارش شده است [۴-۷]. برای مثال امواج صوتی می‌توانند بر رفتار ماهی‌ها و سایر آبزیان و هم‌چنین بر فیزیولوژی آن‌ها تاثیرگذار باشند [۳-۵]. این تغییرات ناشی از امواج صوتی بر رفتار [۱-۲] و فیزیولوژی [۳] بی‌مهرگان آبزی [۱۳]، ماهی‌ها و

سالانه مطالعات و پژوهش‌های بسیاری در علوم بر گونه‌های جانوری در شاخه‌های مختلف تکاملی در محیط‌های خشکی و یا آبی به صورت گسترده انجام می‌شود. بسیاری از مطالعات و یافته‌های علمی بر گونه‌های آبزیان در مراکز تحقیقاتی-پژوهشی و محیط‌های دانشگاهی در تانک‌های ماهی و شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی انجام می‌گیرند. معمولاً پایش و کنترل منابع صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی موجود و فعال در محیط بیرون یا در داخل تانک‌های نگهداری ماهی در محیط‌های آزمایشگاهی مورد توجه قرار نمی‌گیرد [۱-۲]. این در حالی است که به نظر می‌رسد انواع منابع صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی هم در محیط‌های طبیعی و زیستگاه‌های اصلی و هم در شرایط آزمایشگاهی پتانسیل تاثیرگذاری بر ماهی‌ها و سایر آبزیان را داشته باشند [۳-۹]. منبع امواج صوتی در محیط‌های آزمایشگاهی متنوع

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

علمی و معتبر در خارج از کشور بر الگوهای پراکنش صوتی و اندازه‌گیری موج صوتی تانک‌های ماهی در شرایط آزمایشگاهی گزارش شده‌اند [۳۰-۳۷]. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، برای اولین بار در ایران، هدف از این پژوهش اندازه‌گیری تراز فشار صدا و پراکنش مکانی تراز فشار صدا در یک تانک‌ماهی می‌باشد که در مطالعات و آزمایش‌های رفتارشناسی از این نوع تانک‌ها به‌صورت متداول استفاده می‌گردد.

۲. مواد و روش‌ها

محل انجام این آزمایش اتاق آزمایشگاه زیست‌شناسی و رفتارشناسی ماهی و سایر آبیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان واقع در شهرستان صومعه‌سرا بوده است. تانک‌ماهی مورد استفاده در این آزمایش به‌صورت مستطیل شکل با ابعاد ۳۵ سانتی‌متر طول، ۳۰ سانتی‌متر عرض و ۲۵ سانتی‌متر ارتفاع بود (شکل‌های ۲ و ۳). قطر شیشه مورد استفاده برای این تانک برابر با ۰/۵ میلی‌متر می‌باشد. تانک آزمایش تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر آبیگری شد. برای آبیگری تانک، از منبع آب شهری موجود در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان واقع در شهرستان صومعه‌سرا استفاده شد. جهت کاهش اثر لرزش ساختمان و محل اندازه‌گیری امواج صوتی و تاثیر احتمالی بر نتایج، اندازه‌گیری‌های صوتی طبق روش کار [۳۱] از یک میز چهار پایه استفاده گردید و تانک‌ماهی پس از قراردادن یک لایه یونولیت استیروفوم عایق روی میز قرار گرفت.

قبل از آبیگری تانک‌ماهی مختصات مکانی مورد نظر در سطوح جلویی (طول تانک)، جانبی (عرض تانک) و ارتفاعی (عمق تانک) با استفاده از مازیک رنگی و خط‌کش دقیق از سطح بیرونی مورد نشانه‌گذاری و ترسیم قرار گرفت و مختصات‌های موردنظر برای اندازه‌گیری به‌صورت شطرنجی تولید و مشخص گردید (شکل‌های ۱ و ۲). جهت قرار دادن دستگاه اندازه‌گیری صوتی دقیقاً در محل مختصات مکانی موردنظر با استفاده از دو دستگاه لیزروپونت (نشان گر لیزری) توسط دو آزمایشگر در محور طولی (جلویی) و عرضی (جانبی) تانک‌ماهی به‌صورت هم‌زمان و سه-بعدی انتخاب گردید. دستگاه اندازه‌گیری موج صوتی در جایگاه دقیق و مناسب موردنظر برای هر

پستانداران دریایی [۱۰-۱۲] مورد بررسی قرار گرفته است [۴-۹]. برای مثال امواج صوتی می‌توانند در بسیاری از گونه‌های ماهی‌ها منجر به کاهش راندمان غذایی [۱۴-۱۸]، کاهش توانایی برقراری ارتباط موفق با جنس مخالف در یک گونه [۱۹-۲۳] و در نهایت بر موفقیت تولیدمثل و بقاء آن‌ها تاثیرگذار باشند [۲۴-۲۵].

مجموعه مطالعات قبلی رفتارشناسی نویسندگان مقاله نشان داده است که منابع صوتی می‌توانند بر رفتارهای شناگری و مرتبط با تنش (استرس) در ماهی‌ها (ماهی زبرا^۱ و ماهی سیکلید^۲ دریاچه ویکتوریا آفریقا) [۲۶] تاثیر داشته باشند. نتایج این آزمایش بیانگر اثرات اختصاصی موج صوتی پخش شده (افزایش تراز فشار صدا) بر دو گونه ماهی نام‌برده شده با قابلیت‌های شنوایی کاملاً متفاوت می‌باشد. علاوه بر بهره‌داران امواج صوتی می‌توانند بر رفتارهای بی‌مهرگان نیز تاثیر داشته باشند. با توجه به اینکه گونه‌های جانوری از دریافت‌کننده‌ها و حسگرهای مختلف جهت درک و شناخت محیط اطراف استفاده می‌کنند در مطالعه‌ای دیگر هم‌چنین بررسی اثر موج صوتی و نور به عنوان دو شبه‌سنگ محیطی به‌طور هم‌زمان [۲۷] و یا جداگانه (نور) [۲۸] بر رفتار شناگری یک گونه از سخت‌پوستان (دافنی آب شیرین^۳) انجام شد. در مطالعه‌ای دیگر نویسندگان این مقاله نشان دادند که در شرایط آزمایشگاهی ماهی زبرا برای بالغ توانایی گزینش و بروز ترجیحات رنگی در یک تانک اختصاصی را دارد [۲۹]. البته لازم به ذکر می‌باشد که این نوع از رفتارهای برتری رنگی نیز می‌تواند به‌صورت بالقوه تحت تاثیر امواج صوتی قرار گیرند.

برخلاف بررسی‌ها و نتایج مطالعات یادشده اثر موج صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر گونه‌های مختلف آبیان در زیست‌گاه طبیعی و شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی تاکنون بررسی نشده است. با بررسی متون علمی فارسی، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص اندازه‌گیری فشار صوتی در محیط تانک‌ماهی و گزارش تغییرات پراکنش مکانی میزان فشار صوتی در ایران صورت نگرفته است. اگرچه مطالعات

¹ Danio rerio

² Haplochromis piceatus

³ Daphnia magna

سانتی‌متر عرض‌های ۲، ۱۰ و ۱۸ سانتی‌متر و ارتفاع‌های ۲، ۱۲/۵ و ۲۳ سانتی‌متر در این تانک‌ماهی انتخاب گردیدند. جهت اندازه‌گیری پراکنش فشار صوتی در تانک، از یک دستگاه سنجش صوتی در زیر آب که به برج نگه‌داری عمودی با قابلیت تغییر مکانی افقی و عمودی متصل شده بود، استفاده گردید. تولید امواج صوتی با استفاده از یک بلندگوی پرتابل جی‌بی‌آل^۱ ساخت کشور آمریکا با فاصله یک سانتی‌متر از دیواره موردنظر تانک آزمایش انجام شد. دستگاه اندازه‌گیری فشار صوتی به یک دستگاه ضبط‌کننده موج صوتی متصل به همراه یک آمپلی‌فایر پیش‌ساخته جهت تقویت ورودی دستگاه اندازه‌گیری فشار صوتی متصل گردید. در ادامه فایل‌های ضبط‌شده توسط یک دستگاه لپ‌تاپ برند ایچ‌پی^۲ ساخت چین و با استفاده از نرم‌افزار تخصصی پردازش صوتی آئوداسیتی و نرم‌افزارهای متلب^۳ و آر^۴ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. نمودارهای پراکنش صوتی با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل^۵ و آر و متلب تولید شدند. با توجه به اهمیت موضوع در اندازه‌گیری موج صوتی و حساس بودن روش کار سنجش، در تمامی دستگاه‌های استفاده‌شده برای اندازه‌گیری امواج صوتی تانک‌ماهی از منبع تغذیه‌ی باتری به جای منبع تغذیه برق شهری استفاده شد.

۳. نتایج

نتایج اندازه‌گیری‌های فشار صوتی در تانک‌ماهی بیانگر دامنه تغییرات پراکنش مکانی این مولفه با توجه به موقعیت بلندگو در مختصات مختلف مورد اندازه‌گیری شده می‌باشد. با توجه به شکل ۳ بخش‌های (الف)، (ب) و (ج)، نتایج اندازه‌گیری‌های شیب فشار صوتی و پراکنش فشار صوتی در نقطه مختصات‌های معین به صورت سه-بعدی نقطه‌ای به ترتیب در لایه‌های ستون بالایی آب، میانی و پایینی نشان داده شده است.

این بخش از نتایج بیانگر می‌باشند که شیب فشار صوتی در نزدیکی دیواره تانک ماهی مجاور بلندگو (دیواره سمت

نقطه از مجموع ۵۶ نقطه مختصاتی تثبیت گردید و بعد اندازه‌گیری‌های صوتی صورت پذیرفت (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱ نمای جانبی طرح‌واره موقعیت مکانی تانک‌ماهی مورد استفاده در آزمایش؛ نقاط مختصاتی علامت‌گذاری شده محل‌های اندازه‌گیری امواج صوتی در تانک‌ماهی می‌باشند.



شکل ۲ نمای روبرو (جلویی) از تانک‌ماهی و مختصات‌های نشانه‌گذاری شده برای اندازه‌گیری فشار صوتی؛ نقاط مختصاتی علامت‌گذاری شده محل‌های اندازه‌گیری موج صوتی در تانک می‌باشند.

جزئیات مختصات نقاط شامل ۱۸ نقطه اندازه‌گیری از نمای جلویی تانک‌ماهی و نه نقطه مختصات از نمای جانبی تانک‌ماهی می‌باشند که به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده هستند. تعداد ۵۴ نقطه مختصات به صورت سه-بعدی در طول‌های ۲، ۹/۷۵، ۱۷/۵، ۲۵/۲۵ و ۳۳

^۱ JBL

^۲ HP

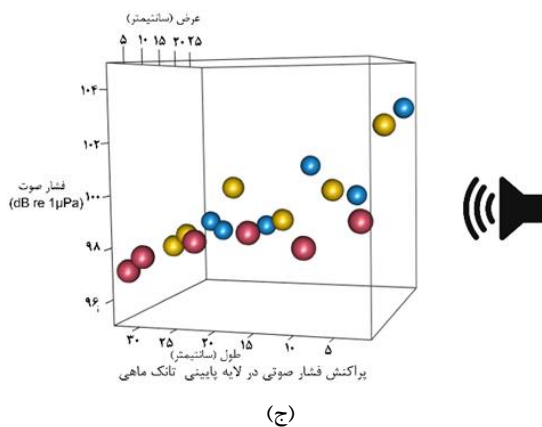
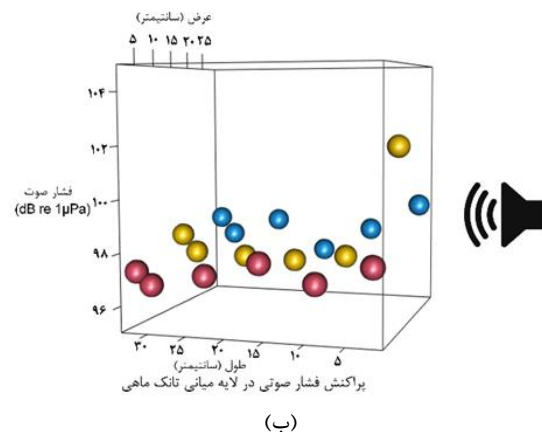
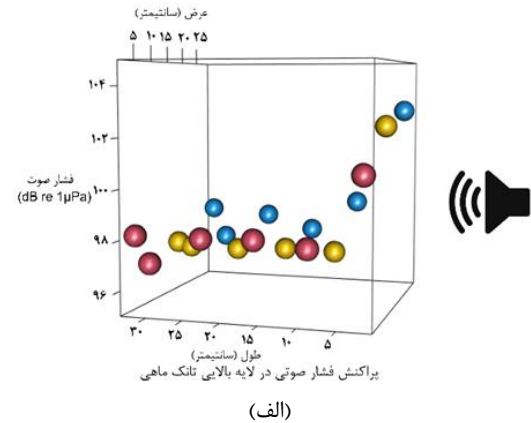
^۳ Matlab

^۴ R

^۵ Excel

یکسری تغییرات و نوسان‌های افزایشی و کاهش‌ی فشار صوتی در محور طولی تانک‌ماهی در نقطه مختصات‌های تعیین‌شده مشاهده می‌گردد. در محور طولی تانک‌ماهی با نزدیک‌شدن به دیواره جانبی (عرضی) مقابل به منبع صوتی، مجدد افزایش میزان شیب فشار صوتی به ثبت رسیده است. این الگوی تغییر شیب فشار صوتی در محور طولی با نزدیک‌شدن به دیواره جانبی (عرضی) مقابل به منبع صوتی در هر سه لایه بالایی، میانی و پایینی مشاهده می‌گردد (شکل ۳). نتایج تغییرات شیب فشار صوتی و پراکنش فشار صوتی در نقطه مختصات‌های معین در شکل ۴ بخش‌های (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب در لایه‌های بالایی، میانی و پایینی ستون آبی با فاصله‌گرفتن از منبع پخش صوتی در طرف راست دیواره جانبی تانک ماهی به صورت دو-بعدی صفحه‌ای آمده است. در این شکل‌ها نیز به صورت واضح تغییرات فشار صوتی با الگوهای رنگی نشان داده شده‌اند و بیانگر افزایش میزان فشار صوتی نقاط نزدیک به دیواره مجاور به محل استقرار منبع صوتی (بلندگو) می‌باشند. در شکل ۴-الف دامنه فشار صوتی در لایه ستون بالایی نزدیک به سطح آب بین ۹۷ تا ۱۰۲ دسی‌بل تعریف شده است. در شکل ۴-ب دامنه فشار صوتی در لایه ستون میانی آب بین ۹۷ تا ۱۰۱ دسی‌بل تعریف شده است. هم‌چنین در شکل ۴-ج دامنه فشار صوتی در لایه ستون پایینی نزدیک به دیواره کف تانک‌ماهی بین ۹۸ تا ۱۰۳ دسی‌بل تعریف گردیده است. با بررسی الگوی صفحه‌ای دو-بعدی شیب فشار صوتی و پراکنش فشار صوتی نقطه مختصات‌های مکانی در شکل ۴-الف در لایه بالایی نزدیک به سطح آب مشاهده می‌گردد که دامنه تند شیب فشار صوتی در محدوده ۵ سانتی‌متری از دیواره شیشه‌ای تانک‌ماهی نزدیک به منبع صوتی در محور طولی متمرکز می‌باشد و تقریباً این شیب صوتی در تمامی بخش‌های دیواره جانبی (عرضی) نزدیک به منبع صوتی یکسان است.

البته در شکل ۴-ب الگوی تند شیب فشار صوتی در لایه میانی ستون آبی همانند لایه بالایی نزدیک به سطح آب در محدوده ۵ سانتی‌متری از دیواره شیشه‌ای تانک‌ماهی نزدیک به منبع صوتی در محور طولی متمرکز می‌باشد با این تفاوت که بیش‌ترین میزان شیب فشار صوتی در

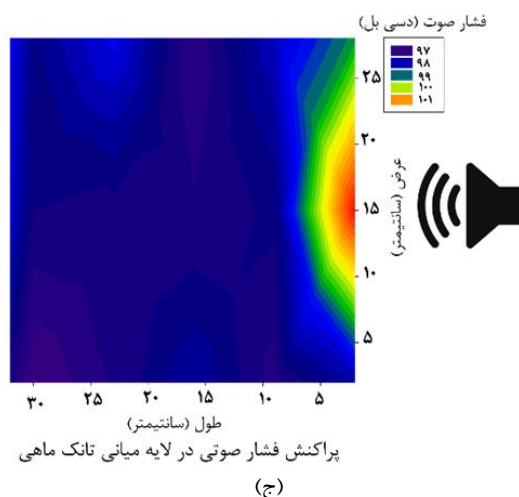
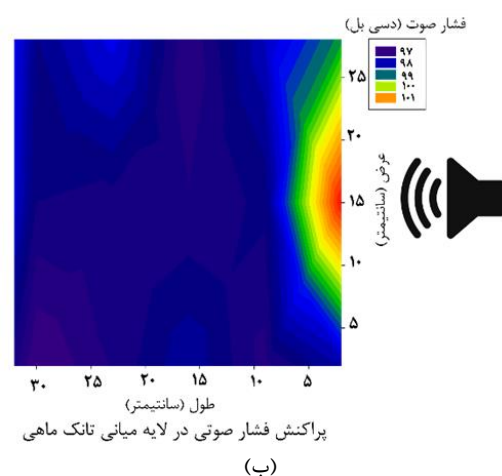
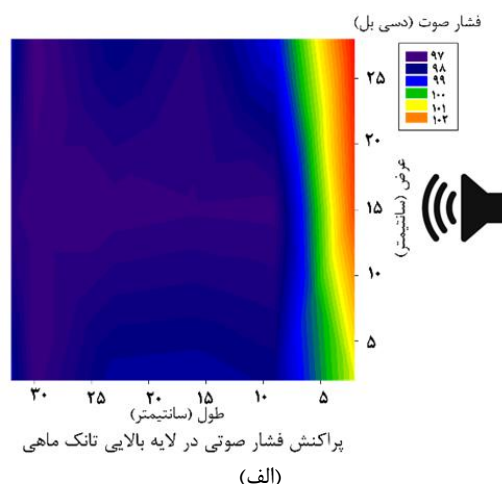


شکل ۳ تصویر سه-بعدی نقطه‌ای پراکنش فشار صوتی لایه‌های (الف) بالایی، (ب) میانی و (ج) پایینی ستون آبی در تانک‌ماهی؛ بلندگو در سمت راست بیان‌گر موقعیت مکانی منبع پخش امواج صوتی می‌باشد. به ترتیب رنگ‌های قرمز، زرد و آبی بیان‌گر فاصله‌های ۲، ۱۰ و ۱۸ سانتی‌متر وجه (ضلع) عرضی تانک‌ماهی از مبدا می‌باشند. اعداد در محور عمودی سمت چپ بیان‌گر مقادیر فشار صوتی در واحد $\text{dB re } 1 \mu\text{Pa}$ می‌باشد.

راست) بالاتر از سایر نقطه مختصات‌های اندازه‌گیری‌شده است. با فاصله گرفتن از دیواره جانبی (عرضی) نزدیک منبع صوتی، شیب فشار صوتی محو (کاهش واضح) شده و

منطقه مرکزی دیواره جانبی (عرضی) نزدیک به منبع صوتی متمرکز شده است. این الگوی مشاهده‌شده نقطه‌ای شیب تند فشار صوتی در دیواره مجاور (عرضی) نزدیک به منبع صوتی و متمرکز در نقطه ۱۵ سانتی‌متر فاصله از مبدا محور عرضی (شکل ۴-ب) در لایه میانی ستون آبی می‌تواند به علت فاصله گرفتن از سطح آب (لایه بالایی) و سطح کف (لایه پایینی) تانک‌ماهی تفسیر گردد که میزان انعکاس و بازپخش موج صوتی کم‌تری از این دو ناحیه دیواره‌ای دریافت نموده است. هم‌چنین الگوی پراکنش فشار صوتی نقطه مختصات‌های مکانی در لایه میانی ستون آب همانند سطح بالایی و تا حدودی سطح پایینی در کنار دیواره‌ها مشابه می‌باشد.

الگوی صفحه‌ای شیب فشار صوتی در لایه پایینی تانک‌ماهی در محدوده بیش از ۵ سانتی‌متری و کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متری از دیواره مجاور (عرضی) شیشه‌ای تانک‌ماهی نزدیک به منبع صوتی در محور طولی متمرکز می‌باشد (شکل ۴-ج). الگوی مشاهده‌شده شیب فشار صوتی در لایه پایینی با میزان نسبی شیب فشار صوتی در لایه بالایی ستون آبی و نزدیک به سطح آب شباهت بیش‌تری دارد. پراکنش فشار صوتی نقطه مختصات‌های معین در تانک‌ماهی در لایه پایینی تفاوت‌هایی با لایه میانی ستون آبی و لایه بالایی نزدیک به سطح ستون آبی نشان داده‌اند. به‌طوری که نقاط مختصاتی میانی و کناره‌ای با فشارهای صوتی بالاتری و تا حدودی شیب ملایم صوتی مشاهده می‌گردند که در دو لایه ستونی قبلی دیده نشد. علت این افزایش میزان فشار صوتی می‌تواند انتقال انرژی از قسمت محل استقرار تانک‌ماهی روی میز آزمایش باشد که در نتیجه باعث افزایش فشار صوتی گردیده است. مطالعات تکمیلی و تکرار این سنجش‌های صوتی در تانک‌های ماهی دیگر نیاز می‌باشد تا این تکرارپذیری الگوی پراکنش صوتی متفاوت در لایه پایینی نزدیک‌تر به بستر (کف) تانک‌ماهی تحلیل گردد. به‌طور کلی این بخش از نتایج پراکنش صفحه‌ای فشار صوتی به‌صورت تکمیلی و با جزییات بیش‌تر تاییدکننده نمودارهای سه-بعدی نقطه‌ای شیب فشار صوتی و پراکنش فشار صوتی در نقطه مختصات‌های معین بخش اول نتایج می‌باشد. به‌طوری که بیانگر مقدار افزایشی و بالاتر بودن میزان شیب فشار



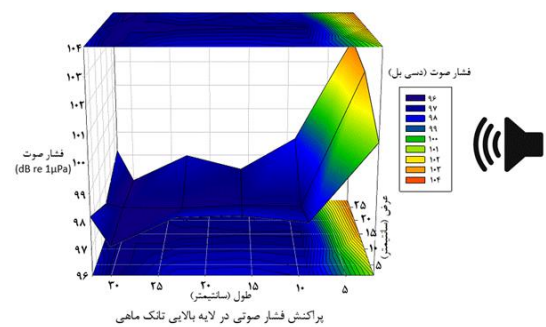
شکل ۴ پراکنش صفحه‌ای فشار صوتی لایه‌های (الف) بالایی، (ب) میانی و (ج) پایینی ستون آبی در تانک‌ماهی؛ بلندگو در سمت راست بیان‌گر موقعیت مکانی منبع پخش صوتی می‌باشد. الگوهای رنگی با توجه به میزان تغییرات فشار صوتی در تانک‌ماهی متغیر می‌باشند. رنگ قرمز بیان‌گر میزان فشار صوتی بالا و رنگ آبی بیان‌گر میزان فشار صوتی پایین‌تر هستند.

در شکل ۵ بخش‌های (الف)، (ب) و (ج) نتایج تغییرات شیب فشار صوتی و پراکنش فشار صوتی در نقطه مختصات‌های معین سه-بعدی صفحه‌ای به‌ترتیب در لایه‌های بالایی نزدیک به سطح آب ستون آبی، میانی و پایینی نزدیک به بستر (دیواره شیشه‌ای زیری) تانک‌ماهی نشان داده شده است.

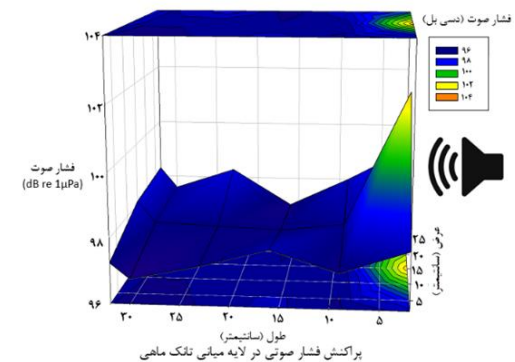
۴. بحث

روند تغییرات فشار صوتی مرتبط با فاصله گرفتن از منبع صوتی در این پژوهش، هم‌چنین در مطالعات قبلی نویسنده مقاله نیز مشاهده و به ثبت رسیده است [۱۵، ۲۶، ۳۱]. در مطالعه دیگر توسط منبع [۳۴] به بررسی سیمای صوتی در محیط طبیعی و محیط کنترل‌شده پرداخته شده است. تغییرات مشابه فشار صوتی محیط کنترل‌شده در محور طولی با فاصله گرفتن از منبع صوتی با مطالعه حاضر مشاهده می‌گردد. در ادامه با فاصله‌گیری از منبع صوتی نوسانات و تغییرات فشار صوتی دیده می‌شود و در نهایت با رسیدن به دیواره افزایش نسبی فشار صوتی دیده می‌شود که مشابه مطالعه حاضر است.

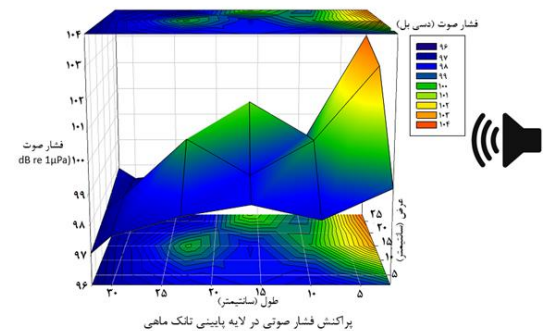
البته در بخش دیگر از نتایج مقایسه این دو مطالعه، تغییرات عرضی فشار صوتی مشاهده شده در این مطالعه با مطالعه حاضر متفاوت است. به‌طوری‌که میزان بیش‌تر فشار صوتی برای نقاط مرکزی و کاهش فشار صوتی برای نقاط کناری عرضی به ثبت رسیده و مشاهده شده است. این تفاوت فشار صوتی مشاهده‌شده در محور عرضی به‌طور ویژه می‌تواند مرتبط با نوع دیواره محیط کنترل‌شده مورد استفاده در دو پژوهش باشد. در مطالعه حاضر دیواره‌ها شیشه‌ای و استحکام بیش‌تری نسبت به مطالعه [۳۴] دارند که می‌توانند منجر به لرزش و انعکاس امواج صوتی و افزایش نسبی فشار صوتی در نزدیک دیواره باشند. لازم به ذکر است که برای سنجش محرک‌های صوتی در محیط‌های آبی به‌ویژه در محیط‌های آزمایشگاهی، فقط اندازه‌گیری فشار صوتی برای نشان دادن نقشه‌های پراکنشی و مولفه‌های صوتی کافی نمی‌باشد و در نظر گرفتن اندازه حرکت ذره نیز لازم و ضروری است. این موضوع زمانی اهمیت بیش‌تری می‌یابد که توجه شود ماهی‌ها و سایر آبزیان علاوه بر فشار صوتی از حرکت ذره به‌صورت ویژه و گسترده‌تری برای درک



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵ پراکنش فشار صوتی سه-بعدی صفحه‌ای لایه‌های (الف) بالایی، (ب) میانی و (ج) پایینی ستون آبی در تانک‌ماهی؛ بلندگو در سمت راست بیان‌گر موقعیت مکانی منبع پخش صوتی می‌باشد. اعداد در محور عمودی سمت چپ بیان‌گر مقادیر فشار صوتی در واحد $\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$ هستند. الگوهای رنگی با توجه به میزان تغییرات فشار صوتی در تانک‌ماهی متغیر می‌باشند. رنگ قرمز بیان‌گر میزان فشار صوتی بالا و رنگ آبی بیان‌گر میزان فشار صوتی پایین‌تر هستند.

صوتی نزدیک به منبع است که در لایه‌های بالایی و پایینی ستون آبی به ترتیب در بالا به سطح آب و در پایین به دیواره شیشه‌ای کف تانک‌ماهی منتهی می‌گردد و تحت تاثیر این لایه‌ها قرار گرفته است.

گوش داخلی ماهی‌ها و سایر اندام‌ها در بی‌مهرگان) توانایی درک و دریافت نوسانات و تغییرات در مولفه حرکت ذره تولیدشده در نتیجه امواج صوتی را دارا هستند [۴۰، ۴۴-۴۵]. به طوری که سازوکار و ساختار دریافت موج صوتی در گوش داخلی ماهی‌ها بسیار شبیه دستگاه‌های شتاب‌سنج و ژئوفون جهت اندازه‌گیری مولفه حرکت ذره می‌باشد [۴۶-۴۹].

البته بسیاری از ماهی‌ها علاوه بر توانایی دریافت موج صوتی مولفه حرکت ذره، با استفاده از ساختار کیسه شنا و یا سایر حفره‌هایی در بدن‌شان که توسط هوا پر شده است می‌توانند فشار صوتی را نیز ادراک نمایند. به این صورت که فشار صوتی منجر به لرزش و ایجاد حرکت در کیسه شنا شده و از طریق استخوان‌چه‌ها، قابلیت انتقال انرژی مکانیکی به ساختار گوش داخلی را خواهد داشت [۴۷، ۵۰].

بنابراین با توجه به مولفه‌های صوتی که توسط گونه‌های ماهی‌ها و سایر آبزیان قابل دریافت می‌باشد لزوم مطالعه و بررسی پتانسیل اثرگذاری امواج صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر آبزیان در فعالیت‌های زیستی آن‌ها دارای اهمیت و ضروری می‌باشد.

مولفه‌های حرکت ذره^۵ و فشار صوتی^۶ و تغییرات آن‌ها با هم ارتباط پیوسته و تنگاتنگی دارند زیرا صدا توسط آن‌ها در محیط انتقال داده می‌شود. حرکت نوسانی ذرات (حرکت ذره) باعث تغییر فشار هیدرواستاتیک (موج/شیب فشار صوتی) می‌شود. البته الگوهای این ارتباط و نسبت‌ها در شرایط آزمایشگاهی تانک‌ماهی و محیط باز و طبیعی آبی دستخوش تغییرات و پیچیدگی‌های می‌شوند. که یکی از علت‌های عمده آن وجود محیط محصورشده آبی توسط دیواره‌های تانک‌ماهی در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی می‌تواند باشد. برای به‌دست آوردن بینش کافی و قدرت تحلیل داده‌های صوتی در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی تانک‌های ماهی در محیط طبیعی و استفاده از صدا به عنوان شاخص محرک صوتی پیشنهاد می‌گردد که هم مولفه فشار صوتی و هم مولفه حرکت ذره در مطالعات آینده اندازه‌گیری و گزارش گردند. هم‌چنین با وجود

محیط صوتی اطراف خود بهره می‌برند [۳۸-۴۰].

امواج صوتی در محیط زیرآب شامل مولفه‌های حرکت ذره صوتی و فشار صوتی هستند. به دلیل پیچیدگی فن‌ها و شیوه‌های اندازه‌گیری و سنجش، در بسیاری از مطالعات اثر موج صوتی بر ماهی و بی‌مهرگان آبی، فقط مولفه فشار صوتی اندازه‌گیری می‌شود [۳۴]. با توجه به نتایج این مطالعه اندازه‌گیری و تعیین مولفه فشار صوتی می‌تواند بررسی و تفسیر نتایج و پاسخ‌های رفتاری وابسته به امواج صوتی گونه‌های آبزیان، به ویژه ماهی‌ها، در تانک‌های ماهی شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی و هم‌چنین محیط طبیعی زیستگاه‌های آن‌ها را میسر نماید. البته با توجه به اینکه بسیاری از گونه‌های ماهی‌ها و به‌ویژه بی‌مهرگان توانایی درک و دریافت مولفه حرکت ذره صوتی را نیز دارا می‌باشند [۱۳، ۴۰]. لذا، از نظر نویسندگان مقاله حاضر، اندازه‌گیری این مولفه ویژه صوتی می‌تواند به‌صورت تکمیلی در مفاهیم علمی پاسخ‌های رفتاری وابسته به امواج صوتی مفید واقع گردد.

در چند دهه گذشته علاقمندی برای بررسی و مطالعه اثر امواج صوتی بر ماهی افزایش داشته است. معمولاً بسیاری از این نوع مطالعات در محیط‌های کنترل‌شده آزمایشگاهی و در تانک‌های ماهی به دلیل توانایی کنترل شرایط انجام آزمایش، هزینه پایین و قابلیت و کارایی بالای انجام مطالعات مختلف صورت می‌گیرد [۴۱]. اگرچه اعتبار پراکنش صوتی در تانک‌های ماهی به دلیل آثار صوتی ناخواسته^۱ ایجادشده به واسطه بازتاب صوتی ناشی از دیواره‌ها و هم‌چنین طنین^۲ ناشی از دیواره‌های تانک‌ماهی، موج‌های ایستاده^۳ و اثرات میدان نزدیک^۴ محدود می‌باشد [۳۷-۴۲]. البته هنوز به طور قطع مشخص نمی‌باشد که تراز فشار صوتی چقدر می‌تواند به طور کلی بیانگر اثر مجموعه حرکت ذره و فشار صوتی محرک صوتی به ویژه در محیط‌های کنترل‌شده آزمایشگاهی و میدان‌های نزدیک باشد [۴۳].

تقریباً تمامی گونه‌های ماهی‌ها و بی‌مهرگان اندام‌های دریافت‌کننده امواج صوتی (اندام‌های اتولیت در ساختار

¹ Unwanted acoustic artifacts

² Resonance

³ Standing waves

⁴ Near field effects

⁵ Particle motion

⁶ Sound pressure

- captive zebrafish: Always consider the potential for acoustic effects on your laboratory tests,” In Proceedings of Meetings on Acoustics 4ENAL, Acoustical Society of America, vol. 27, no. 1, pp. 010010, 2016.
- [2] S. Shafiei Sabet, “The noisy underwater world: the effect of sound on behaviour of captive zebrafish,” Doctoral Dissertation, Leiden University, pp. 250, 2016.
- [3] A.N. Popper, J. Fewtrell, M.E. Smith, R.D. McCauley, “Anthropogenic sound: Effects on the behavior and physiology of fishes,” Marine Technology Society Journal, vol. 37, no.4, pp. 35-40, 2003.
- [4] H. Slabbekoorn, N. Bouton, I. van Opzeeland, A. Coers, C. ten Cate, A.N. Popper, A.N., “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.
- [5] A.N. Popper, “Effects of anthropogenic sounds on fishes,” Fisheries, vol. 28, no. 10, pp. 24-31, 2003.
- [6] A.N. Popper, A.D. Hawkins, “An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes,” Journal of Fish Biology, vol. 94, no. 5, pp. 692-713, 2019.
- [7] A.N. Popper, M.C. Hastings, M.C., “The effects of anthropogenic sources of sound on fishes,” Journal of Fish Biology, vol. 75, no. 3, 455-489, 2009.
- [8] A.N. Popper, A.D. Hawkins, F. Thomsen, “Taking the animals’ perspective regarding anthropogenic underwater sound,” Trends in Ecology & Evolution, vol. 35, no. 9, pp. 787-794, 2020.
- [9] H. Slabbekoorn, R.J. Dooling, A.N. Popper, “Man-made sounds and animals,” In Effects of Anthropogenic Noise on Animals, Springer, pp. 1-22., 2018.
- [10] A.J. Wright, N.A. Soto, A.L. Baldwin, M. Bateson, C.M. Beale, C. Clark, T. Deak, E.F. Edwards, A. Fernandez, A. Godinho, L.T. Hatch, A. Kakushke, D. Lusseau, D. Martineau, M.L. Romero, L.S. Weilgart, B.A. Wintel, G. Notarbartolo-di-Sciara, V. Martin, “Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise?,” International Journal of Comparative Psychology, vol. 20, no. 2, 2007.
- [11] L.S. Weilgart, “A brief review of known effects of noise on marine mammals,” International Journal of Comparative Psychology, vol. 20, no. 2, 2007.
- [12] C. Erbe, S.A. Marley, R.P. Schoeman, J.N. Smith, L.E. Trigg, C.B. Embling, “The effects of ship noise on marine mammals-A review,”

تفاوت صوتی محیط تانک‌ماهی در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی با محیط آزاد، برای اطمینان از میزان این تفاوت‌ها، مقایسه الگوی شیب صوتی و نحوه پراکنش/پخش صوتی در محیط تانک‌ماهی و در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی، اندازه‌گیری هم‌زمان تراز فشار صدا و حرکت ذره در مکان‌های مختلف توصیه می‌گردد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله با پخش امواج صوتی، مقادیر فشار صوتی نقطه‌ای و شیب موج صوتی در یک تانک مورد سنجش قرار گرفت. اندازه‌گیری فشار صوتی و به‌ویژه حرکت ذره در محیط‌های آبی نیازمند فن‌ها و روش کارهای به‌روزرسانی‌شده و نوین می‌باشند و عموماً ابزارآلات، دستگاه‌ها و دانش لازم در بسیاری از آزمایشگاه‌ها و مراکز علمی و پژوهشی راه‌اندازی نشده است. البته این موضوع با برقراری ارتباطات علمی-پژوهشی بین‌رشته‌ای دانشگاهی و محققین متخصص در کشور قابل دستیابی می‌باشد که نیازمند پشتکار و علاقه‌مندی و به ویژه ایجاد انگیزه برای نسل‌های جدید دانشجویان مرتبط با این علوم می‌باشد. در پایان تاکید می‌گردد که آگاهی از شیب‌های صوتی و پراکنش فشار صوتی به همراه تعیین جهت حرکت ذره در نقطه مختصات‌های محیط آزمایشی به درک بهتر و ارتباط آن با داده‌های زیستی همانند پاسخ‌های رفتاری گونه‌های جانوری شامل ماهی‌ها و بی‌مهرگان کمک خواهد کرد.

۶. تقدیر و تشکر

مراتب قدردانی از جناب آقای مهندس محمدی مسئول محترم آزمایشگاه زیست‌شناسی و رفتارشناسی ماهی و سایر آبیان، آزمایشگاه ماهی‌شناسی و سالن تکثیر و پرورش ماهی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان بعمل می‌آید.

۷. تضاد منافع

این مطالعه تضاد منافع ندارد.

فهرست منابع

- [1] S. Shafiei Sabet, K. Wesdorp, D. Van Dooren, H. Slabbekoorn, “Sound affects behavior of

- 268, 2020.
- [25] K. de Jong, M.C.P. Amorim, P.J. Fonseca, C.J. Fox, K.U. Heubel, "Noise can affect acoustic communication and subsequent spawning success in fish," *Environmental Pollution*, vol. 237, pp. 814-823, 2018.
- [26] 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.
- [27] S. Shafiei Sabet, S. Azarm-Karnagh, F. Zharani Azbari, "Experimental test of sound and light exposure on water flea swimming behaviour," *Acoustical Society of America*, vol. 37, no. 1, pp. 010015, , 2019.
- [28] S. Shafiei Sabet, S. Azarm-Karnagh, F. Zharani Azbari, "Investigating swimming behaviour of *Daphnia* (*Daphnia* Sp) in response to light stimulus," *Journal of Oceanography*, vol. 11, no. 41, pp. 93-100, 2020.
- [29] S. Shafiei Sabet, S.H. Jami, F. Alizadeh Lademakhi, "Assessment of swimming behaviour and colour preferences in adult zebrafish (*Danio rerio*) using the T-maze model," *Applied Biology*, vol. 34, no.1, pp. 110-128, 2021.
- [30] P.H. Rogers, A.D. Hawkins, A.N. Popper, R.R. Fay, M.D. Gray, "Parvulescu revisited: Small tank acoustics for bioacousticians, in the effects of noise on aquatic life II," *Springer*, pp. 933-941, 2016.
- [31] J. Campbell, S. Shafiei Sabet, H. Slabbekoorn, "Particle motion and sound pressure in fish tanks: A behavioural exploration of acoustic sensitivity in the zebrafish," *Behavioural processes*, vol. 164, pp.38-47, 2019.
- [32] A. Kindbom Jonsson, "Assessment and Optimization of Sound Reproduction in Water Filled Tanks," Master's thesis in Master Program Sound and Vibration, Gothenburg, Sweden, 2021.
- [33] A. Novak, P. Cisar, M. Bruneau, P. Lotton, L. Simon, "Localization of sound-producing fish in a water-filled tank," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 146, no. 6, pp. 4842-4850, 2019.
- [34] J. Hubert, Y.Y. Neo, J.A. Campbell, H. Slabbekoorn, "Particle motion and pressure soundscape in outdoor vs indoor set-up," *Acoustical Society of America*, vol. 27, no. 1, pp. 070007, 2016.
- [35] A.D. Hawkins, "An acoustic tank for hearing studies on fish" *Sound reception in fish*, pp. 149-169, 1975.
- [36] A.V. Van den Berg, A. Schuijff, "Acoustics of *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, pp. 606, 2019.
- [13] A.D. Hawkins, A.E. Pembroke, A.N. Popper, "Information gaps in understanding the effects of noise on fishes and invertebrates," *Reviews in fish biology and fisheries*, vol. 25, no. 1, pp. 39-64, 2005.
- [14] J. Purser, A.N. Radford, "Acoustic noise induces attention shifts and reduces foraging performance in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*)," *PLoS One*, vol. 6, no. 2, pp. e17478, 2011.
- [15] S. Shafiei Sabet, Y.Y. Neo, 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.
- [16] C. Magnhagen, K. Johansson, P. Sigray, "Effects of motorboat noise on foraging behaviour in Eurasian perch and roach: A field experiment," *Marine Ecology Progress Series*, vol. 564, pp. 115-125, 2017.
- [17] S. Shafiei Sabet, "The Effects of Anthropogenic noise on aquatic animals: With an emphasis on foraging behaviour," *Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 21, no. 11, 49-61, 2020.
- [18] I.K. Voellmy, J. Purser, D. Flynn, P. Kennedy, S.D. Simpson, A.N. Radford, "Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms," *Animal Behaviour*, vol. 89, pp. 191-198, 2014.
- [19] H. Brumm, H. Slabbekoorn, "Acoustic communication in noise," *Advances in the Study of Behavior*, vol. 35, pp. 151-209, 2005.
- [20] A.N. Radford, E. Kerridge, S.D. Simpson, "Acoustic communication in a noisy world: Can fish compete with anthropogenic noise?," *Behavioral Ecology*, vol. 25, no. 5, pp. 1022-1030, 2014.
- [21] F. Ladich, "Effects of noise on sound detection and acoustic communication in fishes In *Animal communication and noise*," *Springer*, pp. 65-90, 2013.
- [22] H. Brumm, "Animal communication and noise," *Springer Science & Business Media*, vol. 2, 2013.
- [23] R.L. Putland, N.D. Merchant, A. Farcas, C.A. Radford, "Vessel noise cuts down communication space for vocalizing fish and marine mammals," *Global change biology*, vol. 24, no. 4, pp. 1708-1721, 2018.
- [24] K. de Jong, T.N. Forland, M.C.P. Amorim, G. Rieucan, H. Slabbekoorn, L.D. Sivle, "Predicting the effects of anthropogenic noise on fish reproduction," *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 30, no. 2, pp. 245-

- [49] T. Schulz-Mirbach, F. Ladich, "Diversity of inner ears in fishes: Possible contribution towards hearing improvements and evolutionary considerations," *Fish Hearing and Bioacoustics*, pp. 341-391, 2016.
- [50] A.N. Popper, C.R. Schilt, "Hearing and acoustic behavior: Basic and applied considerations in fish bioacoustics," Springer, pp. 17-48, 2018.
- a standing wave tank for studying the hearing capacity of fish," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 78, no. 1, pp. 12-16, 1985.
- [37] T. Akamatsu, T. Okumura, N. Novarini, H.Y. Yan, "Empirical refinements applicable to the recording of fish sounds in small tanks," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 112, no. 6, pp. 3073-3082, 2002.
- [38] S.L. Nedelec, J. Campbell, A.N. Radford, S.D. Simpson, N.D. Merchant, "Particle motion: The missing link in underwater acoustic ecology," *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 7, no. 7, pp. 836-842, 2016.
- [39] Z. Lu, A.N. Popper, R.R. Fay, "Behavioral detection of acoustic particle motion by a teleost fish (*Astronotus ocellatus*): Sensitivity and directionality," *Journal of Comparative Physiology A*, vol. 179, no. 2, pp. 227-233, 1996.
- [40] A.N. Popper, A.D. Hawkins, "The importance of particle motion to fishes and invertebrates," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 143, no. 1, pp. 470-488, 2018.
- [41] H. Slabbekoorn, "Aiming for progress in understanding underwater noise impact on fish: Complementary need for indoor and outdoor studies in the effects of noise on aquatic life II," Springer, pp. 1057-1065, 2016.
- [42] A. Parvulescu, "Problems of propagation and processing," *Marine bio-acoustics*, vol. 1, pp. 87-100, 1964.
- [43] Z. Lu, "Neural mechanisms of hearing in fishes," *The Senses of Fish*, pp. 147-172, 2004.
- [44] S. Dijkgraaf, "Hearing in bony fishes," *Proceedings of the Royal Society of London, Series B. Biological Sciences*, vol. 152, no. 946, pp. 51-54, 1960.
- [45] S. Dijkgraaf, F.J. Verheijen, "Investigations on the sense of hearing in fish," *Acta Physiologica et Pharmacologica Neerlandica*, vol. 1, no. 3, pp. 503-505, 1950.
- [46] G.V. Rodgers, "An Experimental Study of Acoustically Induced Rocking Motion of Simple Asymmetric Geometries," *Doctoral Dissertation*, Georgia Institute of Technology, 2011.
- [47] P. Krysl, A.D. Hawkins, S. Schilt, T.W. Cranford, "Angular oscillation of solid scatterers in response to progressive planar acoustic waves: do fish otoliths rock?," *PLoS one*, vol. 7, no. 8, pp. e42591, 2012.
- [48] C.R. Schilt, T.W. Cranford, P. Krysl, R.E. Shadwick, A.D. Hawkins, "Vibration of the otoliths in a teleost in the effects of noise on aquatic life," Springer, pp. 105-107, 2012.