

اثرات صوت بر رفتار ماهی زبرا و سیکلید دریاچه ویکتوریا در شرایط

آزمایشگاهی

سعید شفیعی ثابت*

استادیار، عضو هیأت علمی گروه شیلات،
دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا
s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲

چکیده

فعالیت‌های انسانی در زیستگاه‌های خشکی و آبی به سرعت در حال افزایش است. زیستگاه‌های دریایی و آب شیرین تحت تأثیر انواع آلاینده‌های انسانی قرار می‌گیرند. شهرنشینی، گسترش حمل و نقل و صنعتی شدن به‌طور مداوم سطح اصوات محیط را با الگوها و طیف‌های مختلف افزایش داده‌اند. اصوات و ارتعاشات ناشی از فعالیت‌های انسانی، به‌عنوان یک منبع آلاینده محیط زیست، در همه جا و در نزدیکی زیستگاه‌های آبی فراگیر شده و به‌طور بالقوه ممکن است اثرات مضر برای آبزیان در سطوح فردی و اجتماعی داشته باشند. طی چند دهه گذشته، توجه عمومی، فعالیت در زمینه حفاظت و رفاه حیوانات توسط سازمان‌های غیردولتی و اکتشافات علمی جدید باعث افزایش آگاهی عمومی در مورد اثرات احتمالی اصوات بر پستانداران دریایی و گونه‌های ماهی گردیده است. در اینجا، در مجموعه‌ای از مطالعات پیوسته‌ی محقق، تأثیر قرار گرفتن در معرض صوت و ارتعاش بر رفتار ماهی زبرا (شامل رفتارهای شناگری و شکارگری) و بررسی مقایسه‌ای پاسخ‌های رفتاری مرتبط با صوت بر رفتار شناگری و پراکنش مکانی دو گونه ماهی با توانایی شنوایی متفاوت و مختص به گونه در شرایط آزمایشگاهی بررسی گردید. اگرچه، مطالعات آزمایشگاهی و میدانی بیشتر برای نشان دادن تأثیرات احتمالی صداهای انسانی در رفتار ماهیان مورد نیاز است.

واژگان کلیدی: مطالعات آزمایشگاهی، ماهی، زیست‌شناسی، رفتار، صوت.

۱. مقدمه

۱-۱ زیستگاه‌های آبی و منابع اصوات

زیستگاه‌های آبی از جمله اکوسیستم‌های دریایی و آب شیرین، در بسیاری از ویژگی‌ها و خصیصه‌های محیطی شبیه به زیستگاه‌های خشکی هستند به این دلیل که مملو از انواع منابع صوتی زیستی و غیرزیستی‌اند [۱-۲]. اولاً، منابع صوتی

با منشاء طبیعی و غیرزیستی مانند امواج آب و جزر و مد، ریزش‌های جوی و فوران‌های آتشفشانی زیردریایی در زیستگاه‌های دریایی رواج دارد [۱]. همچنین آبشارها و جریان‌ات رودخانه‌ای نیز در زیستگاه‌های آب شیرین فراگیر هستند [۳]. ثانیاً، بسیاری از اصوات دارای منشاء زیستی هستند که شامل اصوات جانوران، صداهای تولید شده هنگام

تغذیه و سایر فعالیت‌ها که در هر دو زیستگاه دریایی و آب شیرین وجود دارد [۲]. علاوه بر این، دسته دیگر فعالیت‌های انسانی مرتبط با تولید اصوات به اصطلاح "اصوات ناشی از فعالیت‌های انسانی" است، که در چند دهه گذشته در بازه‌های زمانی و مکانی متفاوت گسترش یافته و امروزه به‌عنوان محرک بالقوه تغییرات زیست محیطی در بسیاری از زیستگاه‌های آبی شناخته شده است [۴-۵]. آلودگی‌های صوتی با منشاء انسانی توسط انواع فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شوند که در محیط‌های آبی و زیستگاه‌های مختلف تنوع فراوانی آن متفاوت است [۴]. منابع صوتی در زیستگاه‌های دریایی و آب‌های اقیانوسی شامل انفجارهای مرتبط با مطالعات لرزه‌نگاری، چکش‌های حفاری سکوها صنایع پتروشیمی، سونارهای نظامی دریایی، فعالیت‌های حمل و نقل کشتی‌های تجاری و تفریحی و انفجار اتفاقی مواد منفجره هستند [۴]. علاوه بر این، آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در زیستگاه‌های ساحلی و اکوسیستم‌های آب شیرین شامل اصوات تولید شده توسط سیستم‌های پمپاژ آب، فعالیت‌های انتقال نیرو و سدسازی، کشتی‌های تفریحی و سر و صدا ناشی از صنایع و فعالیت‌های ساختمانی است [۲].

۱-۲ اهمیت صوت برای گونه‌های جانوری

در کنار فراوانی گسترده و تنوع اصوات از منابع مختلف در زیستگاه‌های آبی، دلایل مختلفی وجود دارد که باعث می‌شود اصوات نقش مهمی در زندگی آبزیان داشته باشند. به طوری که افزایش سطوح اصوات زمینه محیط ممکن است پیامدهای مضر و در برخی موارد غیرقابل جبران برای بسیاری از گونه‌های جانوری داشته باشد [۶]. مسافت طی شده اصوات در محیط‌های آبی تقریباً پنج برابر سریع‌تر از محیط‌های خارج از آب است. (۱۵۰۰ در برابر ۳۰۰ متر بر

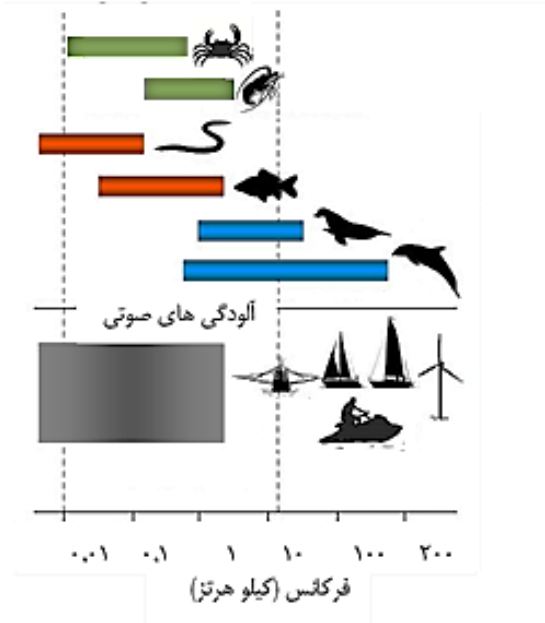
ثانیه) و بنابراین به‌طور بالقوه توانایی و امکان پخش وسیع‌تری در محیط‌های آبی دارند [۴]. همچنین اصوات توانایی انتقال اطلاعات مهم و حیاتی را دارند و بسیار از گونه‌های جانوری می‌توانند این پیام‌های صوتی را از محیط زندگی خود استخراج نموده و برای یافتن طعمه و شکار یا جلوگیری از قرار گرفتن در معرض خطر شکارچیان، به‌ویژه در محیط‌های آب‌های تاریک و کم‌نور که قدرت بینایی محدود است، استفاده نمایند [۷-۸]. علاوه بر این، بسیاری از گونه‌های ماهی‌ها نیز قادر به تولید اصوات هستند و از آن به‌عنوان ابزاری برای برقراری ارتباطات به‌ویژه در زمان دفاع از قلمرو، انتخاب جفت و فعالیت‌های تولید مثلی استفاده می‌کنند [۹-۱۳]. وجود آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی و افزایش سطوح اصوات زمینه محیط ممکن است از طریق هم‌پوشانی، ایجاد اختلال و بازدارندگی با این عملکردها تداخل داشته باشند [۴، ۱۳].

تمام این فعالیت‌ها، سطوح اصوات زمینه محیط را افزایش می‌دهد و به‌طور بالقوه نسبت‌های تعادلی علائم صوتی معنی‌دار زیستی^۱ و اصوات نشانه‌ای^۲ را به آلودگی صوتی کاهش می‌دهد [۴]. این درحالی است که به‌طور معمول برای فرستنده و گیرنده درک و دریافت علائم صوتی معنی‌دار زیستی دارای اهمیت و مفید است. از طرفی در تعریف اصوات نشانه‌ای به آلودگی صوتی (دریافت نشانه به‌طور معمول برای فرد گیرنده مفید و به‌طور بالقوه برای فرد فرستنده مضر و خطرناک است. در نتیجه، آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی که میزان سطوح اصوات زمینه محیط طبیعی را بالا می‌برد، ممکن است پیامدهای رفتاری و زیست محیطی مضر و در برخی موارد غیرقابل جبران را برای بسیاری از گونه‌ها در زیستگاه‌های آبی نه تنها در سطوح انفرادی یک گونه بلکه در اجتماعات گونه‌های مختلف به همراه داشته باشد [۱۴، ۱۵].

فاصله گرفتن از منبع صوتی، افزایش میزان سطح اصوات زمینه در محیط می‌تواند باعث آسیب جسمی و استرس فیزیولوژیکی، تغییر در آستانه شنوایی (دائمی یا موقت)، هم‌پوشانی اصوات مهم زیستی و ایجاد اختلال در الگوهای رفتاری گردد [۲۰]. همه اثرات نام برده می‌توانند با توانایی و قدرت شنوایی اختصاصی گونه‌های ماهی، هم از نظر آستانه مطلق و هم با دامنه فرکانس شنیداری مرتبط باشند [۲۲،۲۱]. اطلاعات بسیار کمی در مورد ویژگی‌های اصوات که می‌توانند موجب ایجاد تغییرات در فیزیولوژی و رفتار، به‌ویژه در شرایط پرورشی آبیان در تانک‌ها و مخازن ماهی مناطقی که دارای پراکنش اصوات پیچیده موجود است [۲۳].

۲. توانایی شنوایی در ماهی‌ها

تمامی انواع گونه‌های ماهی‌ها صدا را با استفاده از اندام‌های مختلف حساس به صوت تشخیص می‌دهند [۴، ۹، ۱۰]. برخلاف گونه‌های جانوری ساکن در خشکی، ماهی‌ها توانایی درک و دریافت مکانیکی اصوات را در آب دارند. ویژگی‌های سیستم شنوایی که اختصاصی و مرتبط با گونه است از گوش داخلی که شامل کانال‌های نیمه دایره‌ای اتولیتیک^۳ (اوترکول^۴، ساکول^۵ و لاگن^۶) و سه ساختار سنگریزه‌های شنوایی (لاپیلوس^۷، ساجیتا^۸ و آستریسکوس^۹) و ساختارهای سیستم خط جانبی تشکیل شده است که جهت درک اصوات مورد استفاده قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که نقش اصلی کیسه شنا در ایجاد حالت شناوری در ماهی‌ها است [۱۰-۱۱]. علاوه بر این، ماهی‌های متعلق به اتوفیزی^{۱۰}، از جمله ماهی زبرا^{۱۱} از خانواده کپور ماهیان، است و به‌عنوان گونه‌های دارای قابلیت و توانایی شنوایی ویژه دسته‌بندی می‌شوند. به این دلیل که بین کیسه شنا و گوش داخلی از طریق مجموعه‌ای از استخوان‌های کوچک (استخوانچه‌های وبر^{۱۲}) ارتباط برقرار شده است که در شکل ۴ مشاهده می‌شود. نوسانات فشار صوت در آب باعث ایجاد نوسانات اندازه و تغییر حجم کیسه شنا ماهی می‌شود. تبدیل فشار



شکل ۱. دامنه شنوایی برخی بی‌مهرگان، ماهی‌ها و پستانداران، اقتباس و اصلاح شده از [۴].

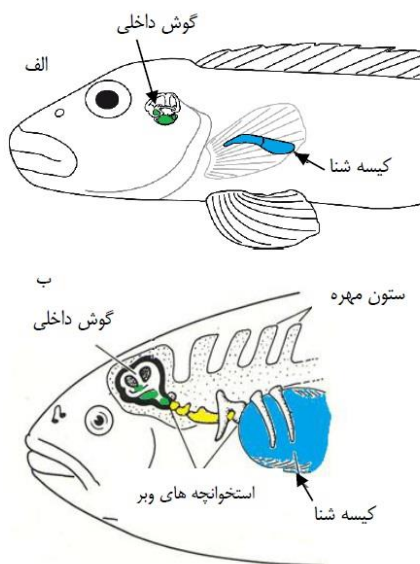
شکل ۱ دامنه شنوایی بی‌مهرگان، ماهی‌ها و پستانداران دریایی را نشان می‌دهد. آلودگی‌های صوتی تا حد زیادی در دامنه شنوایی گونه‌های جانوری آبی و خصوصاً بی‌مهرگان و ماهیان هم‌پوشانی دارند.

در زیستگاه‌های طبیعی، بالا رفتن اصوات زمینه محیط در نتیجه فعالیت‌های انسانی ممکن است انواع مختلفی از اثرات مضر را برای گونه‌های جانوری زیست‌منده داشته باشد که می‌تواند به‌صورت پیوسته شدت نسبی در اثرات مرتبط با اصوات بر پستانداران دریایی و گونه‌های ماهی توصیف گردد [۴]. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، خرچنگ و میگو نماینده گونه‌های بی‌مهرگان آبی [۱۶، ۱۷]، مارماهی نماینده گونه‌های ماهی‌ها با حساسیت به فرکانس پایین و ماهی طلایی نماینده‌ای از خانواده کپور ماهیان که یک گروه نسبتاً حساس به اصوات در نظر گرفته شده‌اند.

بسته به دامنه منبع صدا و نزدیکی گونه جانور، به منبع صوت و میزان شدت قرار گرفتن در معرض اصوات ممکن است منجر به مرگ و میر وسیع و مرگ فوری شود [۱۹-۲۱]. با

که از توانایی (دامنه) شنوایی کمتری برخوردار هستند [۲۳،۱۲،۱۱].

با این حال، برخلاف خانواده‌های ماهیان استاریوفیزی، بسیاری از گونه‌های ماهی، از جمله سیکلیدها، نیز دارای کیسه شنا هستند، اما این ساختارهای اتصال یا هدایت‌گرهای ویژه اصوات از کیسه شنا به گوش داخلی را ندارند و بنابراین دارای قدرت و دامنه شنوایی کمتری هستند [۱۱،۱۰].

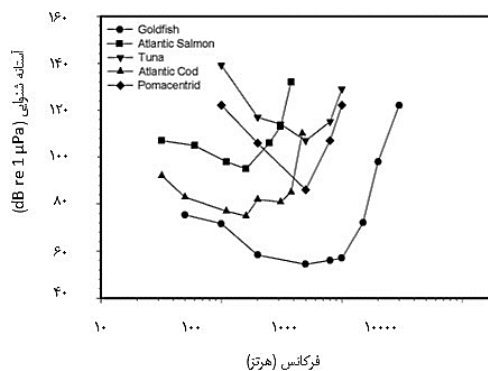


شکل ۴. نمای جانبی دو گونه ماهی الف) با کیسه شنا کوچک که سازگاری خاصی برای اتصال با گوش داخلی به وجود نیامده است و ب) با کیسه شنا بزرگ و استخوانچه‌های ویر. تصاویر به کار رفته با اجازه اقتباس شده از [۵۴].

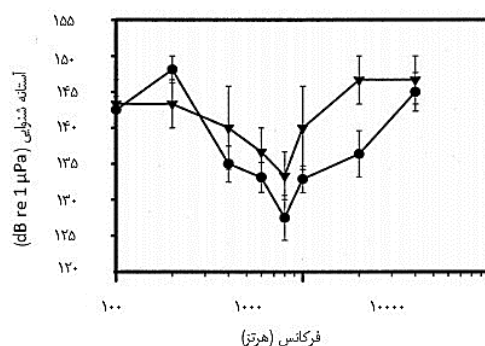
۳. اهداف نگهداری ماهی‌ها

بسیاری از گونه‌های ماهی در سراسر دنیا برای اهداف مختلف به صورت مصنوعی به مناطق محدود و کنترل شده معرفی شده‌اند. ماهی‌ها در شرایط آزمایشگاهی معمولاً برای تحقیقات علمی، در آکواریوم‌ها و باغ وحش‌ها برای تفریح و سرگرمی، در مراکز آبی‌پروری (قفس، کانال، محیط‌های محصور ساحلی و غیره) برای تکثیر و پرورش و احیاء ذخایر در معرض خطر انقراض نسل و یا برداشت و عرضه به بازار جهت اهداف اقتصادی نگهداری می‌شوند.

صوت به حرکت مکانیکی و هدایت بهبود یافته از طریق استخوانچه‌های ویر، قابلیت و توانایی درک اصوات در آستانه‌های حساسیت مطلق پایین‌تر و دامنه شنوایی فرکانس وسیع‌تری را در اختیار ماهی‌ها قرار می‌دهد.



شکل ۲. آستانه شنوایی گروهی از ماهی‌های استخوانی. اقتباس داده‌های مربوط به شنوایی از [۱۲] و نمودار شنوایی از [۱۱].



شکل ۳. مقایسه آستانه شنوایی ماهی زیرا به صورت علامت دایره تیره و ماهی طلایی به صورت علامت مثلث تیره. محور افقی بیانگر طیف فرکانس‌ها و محور عمودی آستانه شنوایی در واحد dB re 1 μ Pa. نمودار شنوایی اقتباس شده از [۲۳].

همان‌طور که در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، ماهی قرمز^{۱۳} از نظر توانایی شنوایی مشابه با ماهی زبرا است، درحالی‌که شقایق ماهی‌ها یا دوشیزه ماهی‌ها^{۱۴} از نظر قدرت و دامنه شنوایی بیشتر شبیه خانواده سیکلیدها^{۱۵} هستند که در یک مطالعه مقایسه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد

به‌عنوان مثال، فقط در کشور چین در حال حاضر حداقل ۵۳۲ گونه متعلق به ۲۴ خانواده از ماهی‌های دریایی وجود دارد که برای اهداف تکثیر مصنوعی و تولید مثل در شرایط کنترل شده استفاده می‌شوند [۲۴]. بسیاری از گونه‌های ماهی‌ها، از جمله ماهی زبرا، برای تحقیقات در شاخه‌های مختلف علم به‌صورت گسترده در آزمایشگاه‌های سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گزارشی بیان شد که بیش از ۱۰۰۰ آزمایشگاه تحقیقاتی در سراسر جهان از ماهی زبرا برای مطالعات و پژوهش استفاده می‌کنند [۲۵] و تخمین زده شده است که این آزمایشگاه‌ها تقریباً تعداد ۵ میلیون ماهی زبرا نگهداری می‌کنند [۲۶].

همچنین بسیاری از ماهی‌ها در شرایط آزمایشگاهی و کنترل شده ممکن است به‌طور مداوم در معرض انواع منابع صوتی قرار بگیرند. صداهای موجود در محیط‌های پرورش و یا آزمایشگاه‌ها ممکن است بر میزان تولید، موفقیت تولید مثل و حتی بر نتایج هر نوع آزمایش غیررفتاری نیز تأثیر بگذارد [۲۷]. همیشه اصوات دارای اثرات منفی برای آبزیان نیست، ماهی‌ها یاد می‌گیرند که یک نوع از صدای خاص، به‌عنوان مثال اصوات تولید شده ناشی از سیستم‌های غذایی خودکار در مزارع پرورش ماهی، می‌تواند بیانگر زمان دریافت مواد غذایی باشد. با این وجود، اصوات با منشاء جدید ممکن است منجر به تغییر رفتار و تولید اضطراب یا کنجکاوگی گردند [۲۸].

علاوه‌براین، در فعالیت‌های آبی‌پروری، تجهیزات تولید صدا همچنین می‌تواند بر روی گونه‌های هدف و غیرهدف در زیستگاه‌های دریایی و آب شیرین اطراف تأثیر بگذارند [۲۹]. به‌عنوان مثال، دستگاه‌های پمپاژ در آبی‌پروری ممکن است مقادیر زیادی از سر و صدای زمینه را به‌طور مداوم تولید کند. همچنین، در محل‌های آب آزاد که برای آبی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیستم‌های قفس‌های شناور ممکن است همراه با دستگاه‌های تولید صوت آبی‌پروری تجاری (CAADs)^{۱۶} استفاده شوند که صداهای بلندی را برای

جلوگیری از حضور و نزدیک شدن گونه‌های شکارچی تولید می‌کنند [۲۹].

۴. مواد و روش‌ها

جهت بررسی اثرات صوت بر رفتار ماهی زبرا تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی، مجموعه‌ای از مطالعات پیوسته رفتارشناسی انجام گرفت. در آزمایش اول تأثیر تیمارهای صوتی با الگوهای زمانی مختلف بر رفتار شناگری و عملکرد تغذیه‌ای ماهی زبرا به‌عنوان گونه شکارچی و بر دافنی^{۱۷} آب شیرین به‌عنوان گونه طعمه مورد بررسی قرار گرفت [۳۰]. در آزمایش دوم، به بررسی مقایسه‌ای پاسخ‌های مرتبط با اصوات بر رفتار شناگری دو گونه ماهی زبرا و ماهی سیکلید دریاچه ویکتوریا^{۱۸} با قابلیت و توانایی شنوایی متفاوت و مختص به گونه مورد بررسی قرار گرفت [۳۱].

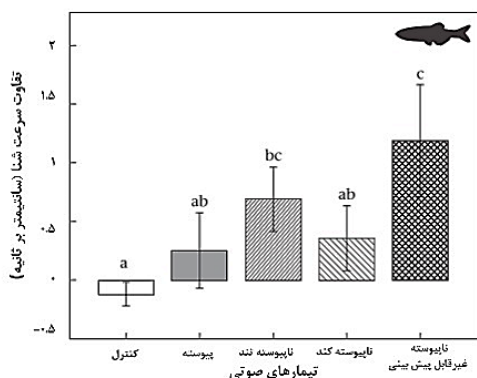
تیمارهای صوتی مورد استفاده در سری آزمایش‌ها با الگوهای زمانی متفاوت شامل: صوت پیوسته، صوت ناپیوسته قابل پیش‌بینی با تناوب بالا، صوت ناپیوسته قابل پیش‌بینی با تناوب پایین و صوت ناپیوسته غیرقابل پیش‌بینی و همچنین تیمار شاهد بود. با تناوب پایین و صوت ناپیوسته غیرقابل پیش‌بینی و همچنین تیمار شاهد بود.

تیمارهای صوتی شکل ۵ شامل؛ تیمار صوت پیوسته (الف) تیمار صوت ناپیوسته منظم با سرعت تناوب تند (۱:۱) شامل یک ثانیه صوت و با فاصله یک ثانیه سکوت است. (ب) تیمار صوت ناپیوسته منظم با سرعت تناوب کند (۱:۴) شامل یک ثانیه صوت و با فاصله چهار ثانیه سکوت است (ج) و تیمار صوتی ناپیوسته نامنظم (۷-۱:۱) شامل یک ثانیه صوت و با فاصله ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و یا ۷ ثانیه سکوت به‌صورت تصادفی است (د).

زیرین، و تأییراتی در انسجام و تراکم گروهی و کارایی تغذیه است [۳۰، ۲۸-۳۳]. برخی از این اندازه‌گیری‌های رفتاری در شاخص‌های نام برده شده بیانگر و نشان‌دهنده استرس فیزیولوژیک، آشفتگی و بازدارندگی در سایر مطالعات انجام شده است [۳۴، ۳۵].

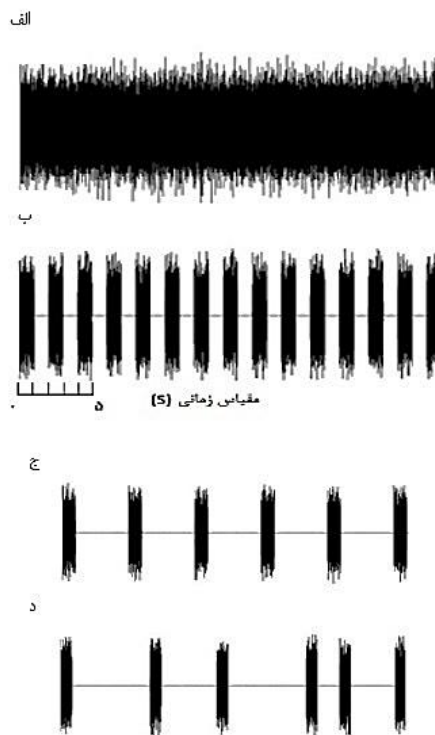
۵. نتایج

هدف از مجموعه آزمایش‌های انجام شده جهت بررسی پتانسیل اثر اصوات با منشأ انسانی و الگوهای زمانی متفاوت بر رفتار شناگری، شکارگری و مقایسه پاسخ‌های وابسته به گونه بوده است، نتایج مشاهدات رفتاری به شرح ذیل حاصل گردید. در آزمایش اول نتایج نشان داد که اصوات با الگوهای زمانی متفاوت تأییری بر رفتار شناگری دافنی آب شیرین به‌عنوان گونه طعمه ایجاد نکرده است. البته تیمارهای صوتی بر رفتار شناگری ماهی زبرا، قابل مشاهده در شکل ۷ تأثیر معنی‌داری داشته است ($P < 0.05$).



شکل ۶. اثر تیمارهای صوتی با الگوهای مختلف زمانی بر اختلاف سرعت شنا ماهی زبرا ($n=14$). حروف انگلیسی کوچک متفاوت بیانگر سطوح معنی‌داری است ($P < 0.05$).

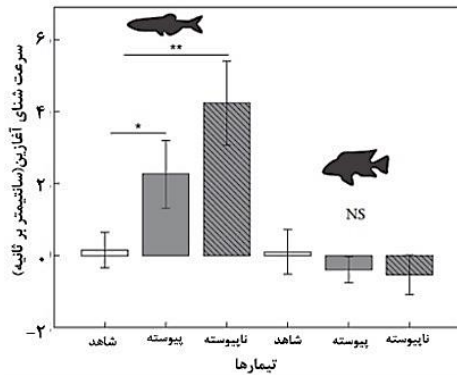
همچنین اثر صوت در راندمان غذایی ماهی زبرا بر دافنی آب شیرین موجود در شکل ۷ نسبت به تیمار شاهد تأثیر منفی نشان داده است ($P < 0.05$). البته در بین تیمارهای صوتی تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید ($P > 0.05$).



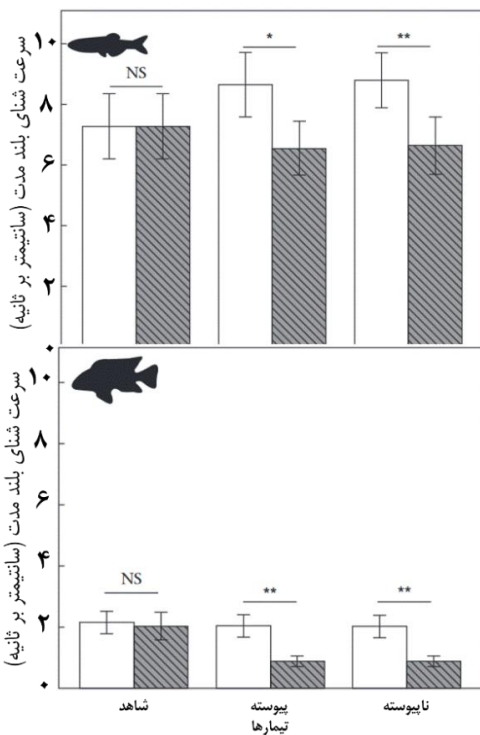
شکل ۵. الگوهای صوتی پیوسته و ناپیوسته مورد استفاده در سری آزمایش‌ها. (الف) تیمار صوتی پیوسته، (ب) تیمار صوت ناپیوسته منظم با سرعت تناوب تند (۱:۱)، (ج) تیمار صوت ناپیوسته منظم با سرعت تناوب کند (۱:۴)، (د) تیمار صوتی ناپیوسته نامنظم (۷-۱:۱).

تیمارهای صوتی با استفاده از نرم‌افزار آوداسیتی^{۱۹} و با هم‌پوشانی در دامنه فرکانس‌های صوتی که برای ماهی زبرا و سیکلید دریاچه ویکتوریا قابل تشخیص و شنوایی است، (۳۰۰-۱۵۰۰ هرتز) [۲۳] تولید شدند. همچنین تیمارهای صوتی با پهناهای باند اصوات با منشأ انسانی شامل وسایل نقلیه، سیستم‌های پمپ و سکوهای حفاری مشابه دارای هم‌پوشانی است [۴].

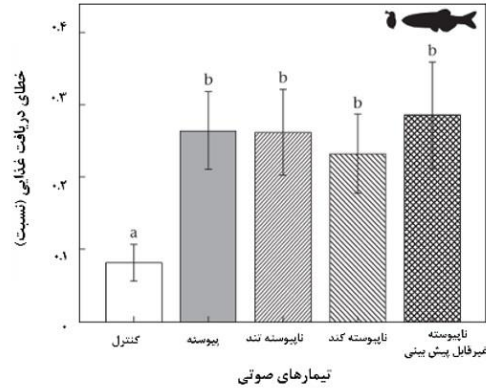
شاخص‌های رفتاری که در بررسی اثرات قرار گرفتن در معرض صوت بر ماهی مورد استفاده قرار گیرند شامل؛ افزایش ناگهانی در سرعت شنا، حرکت انفجاری و شنا نامنظم بی هدف، کاهش سرعت شنا و عدم تحرک، حرکت به سمت بخش‌های پایینی ستون آب و ماندن در لایه‌های



شکل ۸. افزایش سرعت شنای آغازین (ده ثانیه) بلافاصله پس از آغاز پخش صوت، ماهی زبرا و سیکلید دریاچه ویکتوریا، در پاسخ به تیمارهای صوتی. علامت NS بیانگر عدم اختلاف معنی داری در بین تیمارها و ستارهها اختلاف معنی داری به ترتیب در سطوح $P < 0.05$; $**P < 0.01$ است.



شکل ۹. افزایش سرعت شنای بلندمدت (یک دقیقه) بلافاصله پس از آغاز پخش صوت، ماهی زبرا و سیکلید دریاچه ویکتوریا، در پاسخ به تیمارهای صوتی پیوسته، ناپیوسته و شاهد. علامت NS بیانگر عدم اختلاف معنی داری در بین تیمارها و ستارهها اختلاف معنی داری به ترتیب در سطوح $P < 0.05$; $**P < 0.01$ هستند.



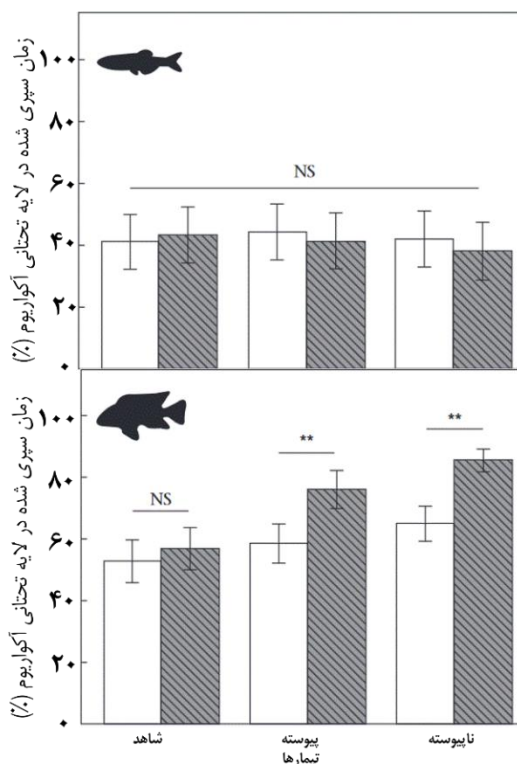
شکل ۷. اثر تیمارهای صوتی بر خطای دریافت غذایی در ماهی زبرا. (n=14). حروف انگلیسی کوچک متفاوت بیانگر سطوح معنی داری است ($P < 0.05$).

در آزمایش دوم، پاسخ‌های رفتار شناگری شامل سرعت شنای آغازین در شکل ۸، سرعت شنای بلند مدت در شکل ۹ و پراکنش مکانی در شکل ۱۰ در زمان مواجهه با تیمارهای صوتی در دو گونه ماهی با توانایی و قابلیت‌های شنوایی و شناگری متفاوت سیکلید و ماهی زبرا مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها بیانگر اثرگذاری اصوات بر هر دو گونه از ماهی‌ها است که در برخی موارد الگوهای رفتاری به صورت مشابه و در برخی شاخص‌ها الگوهای رفتاری مختص به گونه بوده است. پس از ثانیه‌های ابتدایی از پخش صوت، هر دو گونه با گذشت زمان با الگویی مشابه سرعت شنای خود را کاهش دادند. البته در شروع قرار گرفتن در معرض صوت، ماهی زبرا بلافاصله سرعت شنا را به دلیل پاسخ‌های شتاب اولیه، به صورت حرکت انفجاری افزایش داد که این افزایش و حرکت انفجاری در گونه سیکلید دیده نشد و ماهی سیکلید با حرکت آرام رو به عقب به محرک صوتی پاسخ نشان داد.

با توانایی شنوایی متفاوت و مختص به گونه در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. در بخش اول از نتایج، در تیمارهای صوت، افزایش اختلاف سرعت شنا (افزایش سرعت شنا هم‌زمان با آغاز پخش صوت) نسبت به تیمار شاهد و به‌طور ویژه در دو تیمار صوتی با الگوی زمانی متناوب (ناپیوسته قابل پیش‌بینی با تناوب تند و ناپیوسته غیرقابل پیش‌بینی) مشاهده شد در شکل ۷ قابل مشاهده است. همچنین تغذیه ماهی زبرا تحت تأثیر پخش تیمارهای صوتی قرار گرفت به‌طوری که خطای دریافت غذایی و در نتیجه کارایی تغذیه در ماهی زبرا نسبت به تیمار شاهد روند افزایشی را در تمامی تیمارهای صوتی نشان داد در شکل ۸ آمده است. نتایج این بخش از تحقیق مشابه با بررسی اثر صوت بر کارایی تغذیه‌ای ماهی سه خاره^{۲۰} در مطالعه [۳۲-۳۳] است. به‌طوری که با قرار گرفتن در معرض تیمارهای صوتی بدون در نظر گرفتن الگوهای صوتی متفاوت ماهی زبرا همانند ماهی سه خاره در دستیابی و دریافت گونه شکار و بلع آنها دچار اختلال گردید. به‌نظر می‌رسد کاهش راندمان تغذیه‌ای در نتیجه عدم توانایی کامل و موفق به دستیابی مواد غذایی و گونه شکار در تیمارهای صوتی در این گونه ماهیان به دلیل فرضیه تغییر سطح توجه^{۲۱} باشد که توضیح این فرضیه در خصوص تأثیر صوت بر انجام وظایف غیرمرتبط با شنیداری در چندین گونه پیشنهاد شده است [۳۲، ۳۶، ۳۷].

نتایج این آزمایش حاکی از آن است که تأثیر مستقیم اصوات بر گونه شکارچی است، اما این موضوع تأثیر غیرمستقیم قرار گرفتن در معرض صوت در طعمه را از بین نمی‌برد [۳۸، ۸]. بنابراین، تأثیر بر راندمان تغذیه‌ای ماهی‌های شکارچی که از گونه‌ای طعمه بی‌مهرگان استفاده می‌کنند در شرایط طبیعی و محیط‌های زیست آزاد ممکن است تعادل بین پراکنده‌گی و تراکم دو گونه شکاری و طعمه را تغییر دهد. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که اثرات اصوات ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند فراتر از یک گونه در نظر گرفته شود و پتانسیل اثرگذاری بر گونه‌های مختلف در طبقات چرخه

علاوه‌براین، در بخش نتایج اثر تیمارهای صوتی بر پراکنش مکانی ماهی‌ها، ماهی سبکلید در طی زمان پخش صوت بیشتر در قسمت‌های ستون پایین آب سپری نمود و مدت زمان قابل توجه و بیشتری را در لایه زیرین مخزن گذراند، درحالی‌که ماهی زبرا در همان قسمت‌های سطح و ستون بالایی آب باقی می‌ماند.



شکل ۱۰. درصد زمان سپری شده در لایه تحتانی آکواریوم (یک دقیقه) بلافاصله پس از آغاز پخش صوت، ماهی زبرا و سبکلید دریاچه ویکتوریا، در پاسخ به تیمارهای صوتی. علامت NS بیانگر عدم اختلاف معنی داری در بین تیمارها و ستاره‌ها اختلاف معنی داری به ترتیب در سطوح $P < 0.05$; $P < 0.01$ هستند.

۶. بحث

در این آزمایش‌های انجام شده پیوسته، تأثیر صوت بر رفتار ماهی زبرا (شامل رفتارهای شناگری و شکارگری) و پاسخ‌های مقایسه‌ای رفتاری مرتبط با صوت بر رفتار شناگری و پراکنش مکانی دو گونه ماهی (ماهی زبرا و ماهی سبکلید)

غذایی را به همراه داشته باشد [۱۵،۱۴]. بنابراین مطالعات بعدی می‌تواند بیان‌گر اثرات اصوات ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطوح بالاتر از فرد و به نوعی اجتماعی را بیان دارد. همان‌طوری‌که این آثار در سطوح اجتماعی در زیستگاه‌های خشکی به اثبات رسیده است [۴۰،۳۹].

تغییرات در تمایل جستجوی غذا و کارایی شکارگری در نتیجه آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی ممکن است مستقیماً بر فراوانی نسبی گونه‌ها (هم‌گونه‌های شکار و هم‌گونه‌های شکارگر) در زیستگاه‌های آبی تأثیرگذار باشد و موجب بروز یکسری تغییرات در سطح اجتماع گونه‌های جانوری به روشی مشابه اثرگذاری سایر منابع آلودگی شامل آلودگی‌های نوری [۴۱] در زیستگاه‌های آبی، تغییرات در تلاطم و ناشی از جریانات آبی [۴۲] و یا آلودگی‌های شیمیایی [۴۳] گردد. در حال حاضر مطالعات اخیر سایر محققین در بررسی تأثیر آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی این دسته از تأثیرات رفتاری نام برده را بر گونه‌های جانوری در محیط هوا و زیستگاه‌های خشکی تأیید نموده‌اند [۴۵،۴۴،۴۰،۳۹]. در نتیجه، پیشنهاد می‌گردد با توجه به اهمیت موضوع، با پایش کوتاه مدت و بلند مدت در محیط‌های کنترل شده آزمایشگاهی و محیط زیست طبیعی گونه‌های جانوری آبی اثرات منفی آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر پویایی شبکه‌های غذایی در محیط‌های آبی و ثبات در محیط‌های آب شیرین و دریایی-اقیانوسی به‌طور ویژه مورد توجه قرار گیرد.

در بخش دوم، نتایج بیانگر اثرات معنی‌دار افزایش سطوح صوت بر رفتار دو گونه ماهی زبرا و سیکلید دریاچه ویکتوریا بوده است. به‌طور کلی فعالیت‌های اختصاصی شناگری پایه (قبل از پخش صوت) در این دو گونه کاملاً متفاوت بوده که بیانگر اختصاصات رفتاری وابسته به گونه است که در ماهی زبرا سرعت شنای پایه چهار برابر بیشتر از ماهی سیکلید بوده است و در شکل ۹ مشاهده می‌شود.

با پخش تیمارهای صوتی هر دو گونه مورد مطالعه خصیصه‌های رفتاری در برخی موارد با الگوهای مشابه و در موارد دیگر تفاوتی را از خود نشان دادند. در شاخص رفتاری سرعت شنای آغازین با آغاز پخش تیمارهای صوتی شاهد افزایش معنی‌دار سرعت شنای آغازین در ماهی زبرا هستیم که می‌تواند ناشی از پاسخ حرکت لحظه‌ای^{۳۲} و پاسخ شتاب اولیه در این گونه باشد؛ البته در ماهی سیکلید تغییر معنی‌داری در سرعت شنای آغازین در شکل ۸ دیده نشد (حتی در برخی از موارد شنای روبه عقب مختص به گونه در ماهی سیکلید مشاهده شد). این درحالی است که در شاخص رفتاری افزایش سرعت شنای بلند مدت هر دو ماهی زبرا و سیکلید با پخش صوت کاهش معنی‌دار سرعت شنا را از خود نشان دادند و در شکل ۹ مشاهده می‌شود. همچنین در شاخص مدت زمان سپری شده در لایه تحتانی آکواریوم با آغاز پخش تیمارهای صوتی تغییری در رفتار ماهی زبرا دیده نمی‌شود ولی ماهی سیکلید مدت زمان بیشتری را در لایه تحتانی آکواریوم گذرانده است همانگونه که در شکل ۱۰ آمده است. این پاسخ‌های رفتاری مرتبط با پخش صوت به احتمال زیاد یک رفتار وابسته به اضطراب و شبیه به الگوهای پاسخ در سایر گونه‌ها نسبت به تیمارهای صوتی هستند [۴۷،۴۶]. با توجه به اطلاعات کم در خصوص حساسیت‌پذیری گونه‌های ماهی به اصوات، پیشنهاد می‌شود که از نظر شدت نسبی دو گونه و تفسیر نتایج دقت لازم صورت پذیرد. درک تأثیر و مکانیسم(های) اساسی که موجب بروز تغییرات رفتاری مشاهده شده می‌گردد نیازمند به مطالعات بیشتر و گسترده‌تری از جمله اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی و بررسی اثرات طولانی مدت (حداقل هفته‌ها یا ماه‌ها) جهت پرداختن به پتانسیل اثرات اصوات بر توسعه، رشد، بقا، تولید مثل گونه‌های ماهیان است.

افزایش سرعت شنای آغازین در ماهی زبرا، تغییر پراکنش مکانی به سمت پایین در ماهی سیکلید و کاهش سرعت شنای بلند مدت در هر دو گونه پاسخ‌های رفتاری‌اند که

آزمایش در شرایط محیط طبیعی و بررسی اثرات بلند مدت مرتبط با پیامدهای بقا و موفقیت تولید مثلی نیازمند انجام آزمایش‌های تکمیلی و پیوسته دیگری است [۱۸،۱۳،۴]. اگرچه شواهد علمی به‌طور فزاینده‌ای احتمال اثر پخش صوت بر کارایی تغذیه‌ای گونه شکارگر بیانگر این موضوع است که پیامدهای آلودگی صوتی در محیط‌های طبیعی نیز می‌تواند بر گونه‌های جانوری نه تنها در سطح انفرادی و گونه‌ای بلکه در سطوح وسیع‌تر اجتماعات گونه‌ای تأثیرگذار باشد [۱۵،۱۴]. البته بررسی نتایج مطالعات در شرایط آزمایشگاهی مختلف نشان داده است که الگوهای رفتاری مشاهده شده در برخی از شاخص‌های کارایی تغذیه‌ای پاسخ‌های مشابه در بین گونه‌ها [۵۵،۳۳،۳۲،۳۰]. و یا در برخی موارد مقایسه به‌طور هم‌زمان گونه‌های متفاوت، پاسخ به تیمارها و محرک‌های صوتی می‌تواند واکنش‌های متفاوت مختص به گونه‌ای [۵۳،۳۱] را از خود نشان دهند.

۷. نتیجه‌گیری کلی

اصوات تولید شده ناشی از فعالیت‌های انسانی امروزه به‌عنوان یک عامل تنش‌زای محیط زیست شناخته می‌شود که ممکن است بر مراحل مختلف زندگی آبزیان به‌صورت انفرادی و یا اجتماعی تأثیر بگذارد. مروری بر نتایج رفتارشناسی شامل بررسی اثر صوت بر رفتار ماهی زبرا (شامل رفتارهای شناگری و شکارگری) و بررسی مقایسه‌ای پاسخ‌های رفتاری مرتبط با صوت بر رفتار شناگری و پراکنش مکانی دو گونه ماهی با توانایی شنوایی متفاوت و مختص به گونه بیانگر اثرات صوت است. جهت دانستن الگوی اثرات آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر جمعیت‌ها، اجتماعات و اکوسیستم‌ها، تأکید می‌گردد که ابتدا باید چگونگی اثر اصوات در سطح فردی گونه‌ها در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی درک و ارزیابی گردد.

غیرقابل پیش‌بینی نبوده و احتمالاً بهترین تفسیر برای این رویدادهای رفتاری می‌تواند به‌عنوان رفتارهای ناشی از اضطراب^{۳۳} و ترس^{۳۴} بیان گردد. الگوهای پاسخ رفتاری مشابه در مطالعات قبلی اثر صوت بر ماهی زبرا توسط [۲۸]، ماهی باس‌دریایی^{۳۵} [۴۷]، ماهی سالمون اقیانوس اطلس^{۳۶} [۴۶] و ماهی کلمه^{۳۷} و ماهی سه خار^{۳۸} مشاهده شده است [۴۸]. علاوه‌براین در ماهی زبرا نشان داده شده است که اصوات پخش شده با شدت پایین (۱۱۲ دسی‌بل در واحد ۱ میکرو پاسکال) منجر به افزایش سرعت شنای اولیه و شنای ماهی به سمت بالا و سطح آب می‌گردد [۲۸]. مطالعات با محرک‌های دیگر (سایر محرک‌های محیطی غیرزیستی) که احتمالاً در ماهی‌ها باعث ایجاد اضطراب می‌شوند همانند محرک‌های شیمیایی و بصری (بینایی) که مرتبط به‌عنوان حضور و نزدیک شدن یک گونه شکارگر است منجر به بروز رفتارهای مشابه در بسیاری از گونه‌های ماهی‌ها در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی و محیط طبیعی زیست آنها شده است که شامل ماهی زبرا [۵۰،۴۹] و ماهی سیکلید [۵۱] نیز می‌گردد. در نتیجه پاسخ‌های رفتاری از این قبیل (حرکت انفجاری)، حرکت به سمت پایین ستون آبی و کف آکواریوم، کاهش سرعت انجام فعالیت‌ها، کاهش میزان تغذیه و افزایش زمان پنهان شدن در پناهگاه تمامی موارد ذکر شده مشاهدات رفتاری می‌تواند بیانگر و دلالت‌کننده بر افزایش خطر و احتمال شکارشدن توسط گونه‌های شکارچی باشد و ممکن است در شرایط طبیعی‌شان نوعی سازگاری جهت افزایش بقا به احتساب آید. لازم به ذکر و تأکید است که نتایج حاصل شده از هر دو بخش این پژوهش بر پایه بررسی و تست گونه‌های ماهی در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی نیست و امکان تفسیر مستقیم و کمی داده‌های حاصله به شرایط موجود در محیط زیست طبیعی و آزاد نیست [۵۲]. شواهد کاربردی و مستندات رفتاری بیشتر برای

- [1] Wenz, Gordon M., "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1962, Vol.34, no.12, pp.1936-1956.
- [2] Wysocki, Lidia Eva, Sonja Amoser, and Friedrich Ladich, "Diversity in ambient noise in European freshwater habitats: Noise levels, spectral profiles, and impact on fishes", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2007, Vol.121, no.5, pp.2559-2566.
- [3] Tonolla, Diego, Vicenç Acuña, Mark S. Lorang, Kurt Heutschi, and Klement Tockner, "A field-based investigation to examine underwater soundscapes of five common river habitats", *Hydrological processes*, 2010. Vol.24, no.22, pp.3146-3156.
- [4] Slabbekoorn, Hans, Niels Bouton, Ilse van Opzeeland, Aukje Coers, Carel ten Cate, and Arthur N. Popper, "A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish", *Trends in ecology & evolution*, 2010, Vol.25, no.7, pp.419-427.
- [5] Shafiei Sabet, Saeed. "The noisy underwater world: the effect of sound on behaviour of captive zebrafish", PhD diss., Leiden University, the Netherlands, 2016.
- [6] Shafiei sabet, S., "A review of the biological effects of anthropogenic noise on fish", *Veterinary researches biological products (Pajouhesh-va-Sazandegi)*, 2017, Vol.30, no.2, pp.213-223.
- [7] Shafiei Sabet, Saeed, "Noise pollution as a stressor in aquatic animal species", *Iranian Journal of Biology*, 2019, Vol.2, no.3, pp.130-134.
- [8] Shafiei Sabet, S., "Effects of sound pollution on predatory behaviour strategies in aquatic animals", *Veterinary Researches & Biological Products*, 2018, Vol.31, no.2. pp.25-33
- [9] Ladich, Friedrich, "Fish bioacoustics", *Current opinion in neurobiology*, 2014, Vol.28, pp.121-127.
- [10] Popper, Arthur N., and Richard R. Fay, "Rethinking sound detection by fishes", *Hearing research*, 2011, Vol.273, no.1-2, pp.25-36.
- [11] Popper, Arthur N., and Carl R. Schilt, "Hearing and acoustic behavior: basic and applied considerations" In *Fish bioacoustics*, pp.17-48. Springer, New York, NY, 2008.
- [12] Fay, Richard R., and Laura Ann Wilber, "Hearing in vertebrates: a psychophysics data book", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1989, Vol.86, pp.2044-2044.
- [13] Radford, Andrew N., Emma Kerridge, and Stephen D. Simpson, "Acoustic communication in a noisy world: can fish compete with anthropogenic noise?", *Behavioral Ecology*, 2014, Vol.25, no.5, pp.1022-1030.
- [14] Shafiei Sabet, Saeed, Yik Yaw Neo, and Hans Slabbekoorn, "Impact of anthropogenic noise on aquatic animals: from single species to community-level effects", In *The effects of noise on aquatic life II*, pp.957-961. Springer, New York, NY, 2016.
- [15] Slabbekoorn, Hans, and Wouter Halfwerk, "Behavioural ecology: noise annoys at community level", *Current biology*, 2009, Vol.19, no.16, pp.R693-R695.
- [16] Lovell, J. M., M. M. Findlay, R. M. Moate, and H. Y. Yan, "The hearing abilities of the prawn *Palaemon serratus*", *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2005, Vol.140, no.1, pp. 89-100.
- [17] Morley, Erica L., Gareth Jones, and Andrew N. Radford, "The importance of invertebrates when considering the impacts of anthropogenic noise", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2014, Vol.281, no.1776, pp.20132683.
- [18] Hawkins, Anthony D., and Arthur N. Popper, "Assessing the impacts of underwater sounds on fishes and other forms of marine life", *Acoustics Today*, 2014, Vol.10, no.2, pp.30-41.

- [19] Popper, Arthur N., and Anthony D. Hawkins, "An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes", *Journal of fish biology*, 2019, Vol.94, no.5, pp.692-713.
- [20] Popper, Arthur N., and M. C. Hastings, "The effects of anthropogenic sources of sound on fishes", *Journal of fish biology*, 2009, Vol.75, no.3, pp.455-489.
- [21] Popper, Arthur N., and Mardi C. Hastings, "The effects of human-generated sound on fish", *Integrative Zoology*, 2009, Vol.4, no.1, pp.43-52.
- [22] Hawkins, Anthony D., Craig Johnson, and Arthur N. Popper, "How to set sound exposure criteria for fishes", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2020, Vol.147, no.3, pp.1762-1777.
- [23] Higgs, Dennis M., Marcy J. Souza, Heather R. Wilkins, Joelle C. Presson, and Arthur N. Popper. "Age-and size-related changes in the inner ear and hearing ability of the adult zebrafish (*Danio rerio*)" *JARO: Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 2002, Vol.3, no.2 pp.174.
- [24] Hong, Wanshu, and Qiyong Zhang, "Review of captive bred species and fry production of marine fish in China", *Aquaculture*, 2003, Vol.227, no.1-4, pp.305-318.
- [25] Aleström, Peter, Livia D'Angelo, Paul J. Midtlyng, Daniel F. Schorderet, Stefan Schulte-Merker, Frederic Sohm, and Susan Warner, "Zebrafish: Housing and husbandry recommendations", *Laboratory animals*, 2020, Vol.54, no.3, pp.213-224.
- [26] Lidster, Katie, Gareth D. Readman, Mark J. Prescott, and Stewart F. Owen, "International survey on the use and welfare of zebrafish *Danio rerio* in research", *Journal of fish biology*, 2017, Vol.90, no.5, pp.1891-1905.
- [27] Shafiei Sabet, Saeed, Kees Wesdorp, Dirk van Dooren, and Hans Slabbekoorn, "Sound affects behavior of captive zebrafish: always consider the potential for acoustic effects on your laboratory tests", In *Proceedings of Meetings on Acoustics 4ENAL, Acoustical Society of America*, 2016, Vol.27, no.1, pp.010010.
- [28] Neo, Yik Yaw, Lisa Parie, Frederique Bakker, Peter Snelderwaard, Christian Tudorache, Marcel Schaaf, and Hans Slabbekoorn, "Behavioral changes in response to sound exposure and no spatial avoidance of noisy conditions in captive zebrafish", *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2015, Vol.9 pp.28.
- [29] Lepper, P. A., Victoria LG Turner, A. D. Goodson, and K. D. Black, "Source levels and spectra emitted by three commercial aquaculture anti-predation devices", In *Proceedings of seventh European conference on underwater acoustics, ECUA*. 2004.
- [30] Shafiei Sabet, Saeed, Yik Yaw Neo, and Hans Slabbekoorn, "The effect of temporal variation in sound exposure on swimming and foraging behaviour of captive zebrafish", *Animal Behaviour*, 2015, Vol.107 pp.49-60.
- [31] Shafiei Sabet, Saeed, Kees Wesdorp, James Campbell, Peter Snelderwaard, and Hans Slabbekoorn, "Behavioural responses to sound exposure in captivity by two fish species with different hearing ability", *Animal Behaviour*, 2016, Vol.116 pp.1-11.
- [32] Purser, Julia, and Andrew N. Radford, "Acoustic noise induces attention shifts and reduces foraging performance in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*)", *PLoS One*, 2011, Vol.6, no.2, e17478.
- [33] Voellmy, Irene K., Julia Purser, Douglas Flynn, Philippa Kennedy, Stephen D. Simpson, and Andrew N. Radford, "Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms", *Animal Behaviour*, 2014, Vol.89, pp.191-198.
- [34] Blaser, R. E., L. Chadwick, and G. C. McGinnis, "Behavioral measures of anxiety in zebrafish (*Danio rerio*)", *Behavioural brain research*, 2010, Vol.208, no.1, pp.56-62.

- [35] Maximino, Caio, Thiago Marques de Brito, Annanda Waneza da Silva Batista, Anderson Manoel Herculano, Silvio Morato, and Amauri Gouveia Jr., "Measuring anxiety in zebrafish: a critical review", *Behavioural brain research*, 2010, Vol.214, no.2, pp.157-171.
- [36] Chan, Alvin Aaden Yim-Hol, Paulina Giraldo-Perez, Sonja Smith, and Daniel T. Blumstein, "Anthropogenic noise affects risk assessment and attention: the distracted prey hypothesis", *Biology letters*, 2010, Vol.6, no.4, pp.458-461.
- [37] Wale, Matthew A., Stephen D. Simpson, and Andrew N. Radford, "Noise negatively affects foraging and antipredator behaviour in shore crabs", *Animal Behaviour*, 2013, Vol.86, no.1, pp.111-118.
- [38] Shafiei Sabet, Saeed, "The effects of anthropogenic noise on aquatic animals: with an emphasis on foraging behaviour", *Journal of Environmental Science and Technology*, 2020, Vol.21, no.11, pp.49-61.
- [39] Francis, Clinton D., Catherine P. Ortega, and Alexander Cruz, "Noise pollution changes avian communities and species interactions", *Current biology*, 2009, Vol.19, no.16, pp.1415-1419.
- [40] Francis, Clinton D., and Jesse R. Barber, "A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2013, Vol.11, no.6 pp. 305-313.
- [41] Becker, Alistair, Alan K. Whitfield, Paul D. Cowley, Johanna Järnegren, and Tor F. Næsje, "Potential effects of artificial light associated with anthropogenic infrastructure on the abundance and foraging behaviour of estuary-associated fishes", *Journal of Applied Ecology*, 2013, Vol.50, no.1, pp.43-50.
- [42] Powers, Sean P., and John N. Kittinger, "Hydrodynamic mediation of predator-prey interactions: differential patterns of prey susceptibility and predator success explained by variation in water flow", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, Vol.273, no.2, pp.171-187.
- [43] Fleeger, John W., Kevin R. Carman, and Roger M. Nisbet, "Indirect effects of contaminants in aquatic ecosystems", *Science of the total environment*, 2003, Vol. 317, no.1-3, pp.207-233.
- [44] Bayne, Erin M., Lucas Habib, and Stan Boutin, "Impacts of chronic anthropogenic noise from energy-sector activity on abundance of songbirds in the boreal forest", *Conservation Biology*, 2008, Vol.22, no.5, pp.1186-1193.
- [45] Francis, Clinton D., Peter Newman, B. Derrick Taff, Crow White, Christopher A. Monz, Mitchell Levenhagen, Alissa R. Petrelli et al., "Acoustic environments matter: Synergistic benefits to humans and ecological communities", *Journal of environmental management*, 2017, Vol.203, pp.245-254.
- [46] Bui, Samantha, Frode Oppedal, Øyvind J. Korsøen, Damien Sonny, and Tim Dempster, "Group behavioural responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) to light, infrasound and sound stimuli", *PloS one*, 2013, Vol.8, no.5, e63696.
- [47] Neo, Y. Y., E. Ufkes, R. A. Kastelein, H. V. Winter, C. Ten Cate, and H. Slabbekoorn, "Impulsive sounds change European seabass swimming patterns: Influence of pulse repetition interval", *Marine Pollution Bulletin*, 2015, Vol.97, no.1-2, pp.111-117.
- [48] Andersson, Mathias H., Emily Dock-Åkerman, Ramona Ubral-Hedenberg, Marcus C. Öhman, and Peter Sigray, "Swimming behavior of roach (*Rutilus rutilus*) and three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in response to wind power noise and single-tone frequencies", *Ambio*, 2007, Vol.36, no.8, pp.636.
- [49] Gerlai, Robert, Yohaán Fernandes, and Terence Pereira, "Zebrafish (*Danio rerio*) responds to the animated image of a predator: towards the development of an automated aversive task", *Behavioural brain research*, 2009, Vol.201, no.2, pp.318-324.

- [50] Speedie, Natasha, and Robert Gerlai, "Alarm substance induced behavioral responses in zebrafish (*Danio rerio*)", *Behavioural brain research*, 2008, Vol.188, no.1, pp.168-177.
- [51] Vavrek, Meaghan A., and Grant E. Brown, "Threat-sensitive responses to disturbance cues in juvenile convict cichlids and rainbow trout", In *Annales Zoologici Fennici, Finnish Zoological and Botanical Publishing Board*, 2009, Vol.46, no.3, pp.171-180.
- [52] Slabbekoorn, Hans, "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*, pp.1057-1065. Springer, New York, NY, 2016.
- [53] Voellmy, Irene K., Julia Purser, Stephen D. Simpson, and Andrew N. Radford, "Increased noise levels have different impacts on the anti-predator behaviour of two sympatric fish species", *PLoS one*, 2014, Vol.9, no.7, e102946.
- [54] Schulz-Mirbach, Tanja, Brian Metscher, and Friedrich Ladich, "Relationship between swim bladder morphology and hearing abilities—a case study on Asian and African cichlids", *PLoS One*, 2012, Vol.7, no.8, e42292.
- [55] Mohsenpour, Seyed Reza, and Saeed Shafiei Sabet, "The effect of increased sound levels with different temporal patterns on swimming behaviour of Zebrafish (*Danio rerio*)", *Journal of Natural Environment*, 2021, Vol.73, no.4, pp.805-818.

پی نوشت:

1. Signal
2. Cue
3. Otolithic organs
4. Utricle
5. Sacculle
6. Lagena
7. Lapillus
8. Sagitta
9. Asteriscus
10. Otophysi
۱۱. *Danio rerio*
12. Weberian ossicles
13. Gold fish
14. Pomacentrids
15. Cichlids
16. Commercial Aquaculture Acoustic Devices
17. *Daphnia magna*
18. *Haplochromis piceatus*
19. Audacity
20. Sticklebacks
21. Attentional shift
22. Startle response
23. Anxiety
24. Fear
25. *Dicentrarchus labrax*
26. *Salmo salar*
27. *Rutilus rutilus*
28. *Gasterosteus aculeatus*