



مروری بر اثرات زیستی آلاینده‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر ماهی

• سعید شفیعی ثابت

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، گیلان، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۹۵ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۹۶

Email: s.shafei.sabet@guilan.ac.ir



چکیده

آلاینده‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی در محیط‌های زیست‌خشکی و آبی بطور گسترده‌ای روز به روز در حال افزایش است. فعالیت‌های انسانی شامل شهرسازی، صنعتی شدن، توسعه صنعت حمل و نقل دریایی منابع مختلفی از آلاینده‌های صوتی با دامنه فرکانس‌های گسترده و الگوهای زمانی متفاوت را به محیط‌های آبی اضافه نموده‌اند. موجودات آبی شامل پستانداران دریایی، ماهی‌ها و بی‌مهرگان با توجه به میزان تکامل و توانایی‌شان در دریافت و استخراج سیگنال‌ها و علایم صوتی مرتبط از محیط با اصوات زمینه بصورت بالقوه ممکن است بطور متفاوتی تحت تاثیر آلاینده‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی قرار گیرند. در این مقاله ابتدا به بررسی عمده‌ترین منابع صوتی متداول در محیط‌های زیست آبی شامل مناطق دریایی و آب شیرین پرداخته می‌شود. در ادامه اثرات بالقوه صوت بر زیست‌شناسی ماهی شامل آسیب‌های فیزیکی، فیزیولوژیکی، اثرات همپوشانی و بویژه تغییرات رفتاری دنبال می‌گردد. همچنین نتایج حاصل از بررسی‌های اخیر نویسنده و همکاران در خصوص تغییرات رفتاری ناشی از صوت بر ماهی با نتایج سایر محققین مقایسه می‌گردد. در پایان پیشنهاد می‌گردد که مطالعات رفتارشناسی می‌تواند به عنوان یک روش در جهت پایش، حفاظت و درک بهتر اثرات احتمالی آلاینده‌های زیستی بویژه آلاینده‌های صوتی بر ماهی کاربرد داشته باشد. مطالعات گسترده‌تری لازم است تا به اثرات آلاینده‌های صوتی بر روی آبزیان در سطوح انفرادی و گروهی و بازخوردهای آن بر اجتماعات زیستی در سطح اکوسیستم‌های آبی پی برده شود.

کلمات کلیدی: آلاینده‌های زیستی، صوت، زیست‌گاه‌های آبی، زیست‌شناسی رفتاری

• Veterinary Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 115 pp: 213-223

A review of the biological effects of anthropogenic noise on fish

By: Shafiei Sabet, S., (Corresponding Author) Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran.

Email: s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir

Received: 2017-02-20 Accepted: 2017-05-20

Anthropogenic noise produced by a variety of human activities is increasing in both terrestrial and aquatic habitats worldwide. Urbanization, industrialization and maritime transportation have introduced various man-made sounds into the aquatic environment with a broad range of temporal and spectral patterns. Aquatic animals including marine mammals, fishes and invertebrates with different hearing ability can perceive sounds and extract relevant signals and cues from ambient noise in the environment and therefore potentially may be affected by anthropogenic noise differently. In this review, the main sound sources have been clearly demonstrated. Then, in general more prevalent sound detection and sound production mechanisms and organs have been discussed among fish species. Moreover, I address anthropogenic noise effects on fishes including physical, physiological, masking and especially behavioral changes. Moreover, I compared our latest results and behavioural studies on the effect of noise on fish behaviour with recent studies. Finally, I suggest insights of sound-related behavioural changes can be used as a useful method to monitor, assess and mitigate the potential effects of noise on fish species. I believe the studies in the current review contribute eventually to more general awareness of potential issues with noise pollution in aquatic habitat and shed light on the potential effect of anthropogenic noise on fish behaviour. I am sure that, by then, more fundamental insights and future studies will come in handy for potential monitoring, protection or mitigation efforts at the community levels in the aquatic environments.

Key words: Biological pollutants, sound, aquatic habitats, behavioural biology, fish

مقدمه

امروزه اصوات تولید شده ناشی از فعالیت‌های انسانی (Anthropogenic noise) بطور گسترده‌ای به عنوان یکی از عمده‌ترین منابع آلاینده زیستی و ایجادکننده استرس محیطی شناخته شده است که می‌تواند نه تنها موجودات خشکی‌زی (۴۲) بلکه زندگی موجودات آبی را هم تحت تاثیر قرار دهد (۴۱). فعالیت‌های انسانی توأم با تولید صوت در محیط‌های آبی شامل تردد کشتی‌های تجاری، قایق‌های تفریحی، فعالیت‌های چکش‌های سکوه‌ای حفاری، انفجارهای مرتبط با آزمایش‌های زمین‌شناسی، اکتشاف معدن و لرزه‌نگاری و همچنین استفاده از توربین‌های عظیم بادی برای تولید انرژی سازگار با محیط زیست می‌باشد. این منابع صوتی در محیط‌های دریایی و آب شیرین از نظر ویژگی‌های اصلی شامل دامنه، تناوب و شدت صوت بطور گسترده‌ای متنوع و گوناگون می‌باشد (۲۲). با توجه به گستردگی منابع صوتی در محیط‌های آبی و همچنین سرعت بالای صوت (واحد شدت صوت دسی بل رفرنس به میکرو پاسکال $1 \mu\text{Pa rms dB}$ می‌باشد) در آب که تقریباً ۵ برابر سریع‌تر از سرعت صوت در هوا می‌باشد (تقریباً ۱۵۰۰ در مقابل ۳۰۰ متر بر ثانیه) لزوم بررسی اهمیت، نقش و کاربردهای زیستی اصوات و همچنین اثرات بالقوه آلاینده‌های صوتی بر آبیان در محیط‌های

زیست آبی بیشتر حایز اهمیت می‌گردد. در چند دهه اخیر، توجه رو به افزایشی در بین مجامع سیاست‌گذاران و بهره‌برداران از بخش‌های منابع طبیعی، فعالان جمعیت‌های رفاه حیوانات، زیست‌شناسان علوم رفتاری و مدیران محیط‌های زیست در خصوص این امر که چگونه آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند باعث بروز اثرات منفی و زیان بار کوتاه مدت و بلندمدت بر روی جوامع جانوری خشکی و همچنین آبیان گردد، افزایش پیدا کرده است. بنابراین ضروری به نظر می‌رسد که با بررسی اثرات آلاینده‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر روی موجودات آبی در شرایط مختلف زیستی بتوانیم برآورد صحیحی از اثرات بالقوه صوت بر ویژگی‌های فردی گونه‌ها و در مقیاس گسترده‌تر بر روی جمعیت‌ها، اجتماعات و اکوسیستم‌های متراکم جانوری داشته باشیم.

اصوات تولید شده ناشی از انفجارهای تحقیقاتی لرزه‌نگاری، مطالعات زمین‌شناسی و چکش‌های سکوه‌ای حفاری و بهره‌برداری صنایع نفتی با الگوهای زمانی متفاوت اثرات شدید و بسیار مخرب شامل ضایعات فیزیکی و مرگ اجتماعات ماهی‌های نزدیک به منبع صوتی را حاصل نماید. البته این در حالی است که با توجه به دامنه و پراکنش بسیار وسیع صوت در محیط‌های آبی نسبت به محیط‌های خارج از آب در دوره‌های نسبتاً بلند

و ادراک بسیاری از گونه‌های آبزین در محیط‌های آبی دریایی و آب شیرین می‌باشد و پتانسیل اثرگذاری بر فعالیت‌های زیستی بسیاری از گونه‌های آبزین را دارند (۴۱).

اهمیت و نقش صوت در زیست‌شناسی ماهی قدرت شنوایی ماهی‌ها

اندام‌های شنیداری و ادراک صوت در تمامی مهره داران دیده می‌شود و البته تمامی گونه‌های ماهی‌ها نیز دارای این اندام‌ها بوده و قادر به دریافت اصوات و دارای قابلیت شنوایی می‌باشند (۷). اندام‌های شنوایی از نظر ریخت‌شناسی بطور کلی در ماهی‌ها شامل گوش داخلی و همچنین ساختارهای تکامل یافته جانبی دیگر جهت بهبود بخشیدن قدرت شنوایی می‌باشد. گوش داخلی شامل سه مجاری نیم دایره‌ای و سه سنگریزه شنوایی (Utricle, Saccule, Lagena) می‌باشد که هر کدام از آن‌ها حاوی سنگریزه کلسیمی‌اند که در ارتباط مستقیم با ریزمویچه‌های شنوایی می‌باشند که در نتیجه قادر به انتقال و تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی شیمیایی که قابل ارسال از طریق سلول‌های عصبی می‌باشد. بدن ماهی‌ها تقریباً از نظر چگالی با محیط آبی اطراف آن‌ها برابری می‌کند. فقط قسمت‌های چگال‌تر شامل ساختار اتولیت‌ها دارای تاخیر در فاز حرکت می‌باشند که باعث تحریک پذیری ریزمویچه‌های شنوایی می‌گردد. ماهی‌ها جهت دریافت حرکت و جابجایی ذرات آب (Particle motion) در اثر منبع صوتی دارای دو سیستم دریافت‌کننده هستند که شامل گوش داخلی (Inner ear) و سیستم خط جانبی (Lateral line system) می‌باشد. گوش داخلی حساس به دریافت جابجایی ذره توسط صدا در محدوده چند صد هرتز و گاهی تا چند هزار هرتز می‌باشد (۱۳) درحالی که سیستم خط جانبی فقط قادر به دریافت فرکانس‌های پایین‌تر و در حدود زیر ۱۰۰ هرتز و تشخیص صوت در فاصله کم از منبع صوتی (یک تا دو برابر طول بدن ماهی) نسبت به گوش داخلی می‌باشد و عموماً قادر به تشخیص تغییرات نسبی حرکات و جابجایی‌های ذرات آب نسبت به بدن شان می‌باشند (۴۸).

البته توانایی شنوایی ماهی‌ها از نظر شدت آستانه حساسیت شنوایی مطلق (Absolute sensitivity) و دامنه فرکانس شنوایی (Spectral range of hearing) با توجه به گونه، روند تکاملی و شرایط زیستی محیطی و همچنین ساختارهای مورفولوژیکی شنوایی گونه متنوع می‌باشد (۷)، (شکل ۱). علاوه بر این بسیاری از گونه‌ها در مسیر تکاملی خود دارای ساختارهای ویژه‌ای همچون کیسه شنا شده‌اند که توانایی دریافت شدت فشار و در نتیجه تشخیص دامنه فرکانس‌های بالاتر را برایشان فراهم می‌کند (۱۷). در گونه‌های ماهیان استخوانی تکامل یافته تر رده Actinopterygii (Ray-finned fishes) ساختارهای بسیار اختصاصی بهینه‌سازی شده با ایجاد ارتباط بین کیسه شنا و ساختار گوش داخلی جهت دریافت شدت فشار امواج صوتی وجود دارد. به همین دلیل این ساختار ویژه گونه‌های ماهی‌ها را قادر به دریافت اصوات با شدت پایین‌تر و فرکانس‌های تا چند کیلو هرتز می‌سازد (۱۹). برای مثال در ماهیان (Otophysi) چهار راسته و بیش از ۸۰۰۰ گونه (بطور مثال راسته کپورماهیان) این ساختار ویژه به نام دستگاه وبر (Weberian apparatus) یا (Weberian ossicles) معروف می‌باشد که بسیار شبیه پستانداران می‌باشد (۱۷). نوسانات شدت فشار صوتی می‌توانند از طریق لرزش کیسه شنا و ساختارهای استخوان‌های

مدت می‌توان انتظار اثرات بسیار گستره‌تری در خصوص تغییرات زیستی-فیزیولوژیکی مرتبط با صوت و همچنین بازخوردهای رفتارشناسی گونه‌های آبزین را داشت. در این مقاله سعی بر این است تا در ابتدا مروری بر رایج‌ترین و متداول‌ترین منابع صوتی در محیط‌های زیست آبی داشته باشیم. در ادامه به بررسی قدرت شنوایی و توانایی تولید صوت در ماهی‌ها می‌پردازیم. همچنین اهمیت و اثرات بالقوه صوت بر زیست‌شناسی ماهی و مطالعات انجام شده توسط نویسندگان و همکاران در خصوص اثرات آلاینده‌های صوتی بر رفتار ماهی نیز بررسی و با نتایج سایر محققین مقایسه می‌گردد. در بخش پایانی نیز لزوم اهمیت بررسی اثرات آلاینده‌های صوتی بر جوامع ماهی‌ها و پیشنهادات پژوهشی آرایه می‌گردد.

منابع صوتی در محیط‌های زیست آبی

سال‌ها قبل، در دهه ۱۹۵۰ تصور بر این بود که محیط‌های آبی زیستگاه‌هایی صامت، فاقد اصوات و موجودات آبی در محیطی با سکوت کامل زندگی می‌کنند بطوری که در سال ۱۹۵۶ مستند ساز معروف فرانسوی Jacques Cousteau با فیلمبرداری و ساخت مستندی در خصوص زیستگاه‌های آبی تحت عنوان "دنیای صامت زیر آب" موفق به دریافت جایزه مستندسازی در آن دوره گردید. البته امروزه به وضوح اثبات شده است که تصور محیط‌های آرام و بی‌صدا در زیستگاه‌های آبی دیدگاهی نادرست و غیر واقعی می‌باشد و اصوات با منابع مختلف در محیط‌های آبی پراکنش دارند (۲۲، ۴۱). بطور کلی اصوات تولید شده در محیط‌های زیست آبی به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند: گروه اول، اصوات تولید شده با منشاء زیستی شامل صداهای تولید شده توسط طیف وسیعی از جانداران آبی مثل پستانداران دریایی، ماهی‌ها میگوها و سایر بی‌مهرگان می‌باشد. گروه دوم، اصوات تولیدشده با منشاء غیر زیستی (فیزیکی) شامل وزش بادها و بارندگی‌ها در سطوح آبی، حرکت و برخورد موج‌ها و جریان‌های آبی به یکدیگر، فعالیت‌های ولکانیک و آتشفشانی همچنین جوشش جریان‌های عمقی چشمه‌های آب داغ در اعماق اقیانوس‌ها و دریاها را شامل می‌شود. و گروه سوم، اصوات تولیدشده با منشاء فعالیت‌های انسانی می‌باشد که در این مقاله بیشتر به این گروه پرداخته می‌شود.

اصوات تولیدشده با منشاء فعالیت‌های انسانی در محیط‌های زیست آبی از نظر تداوم، زمان وقوع (در طول روز و شب) و تناوب فاصله زمانی از دو گروه اخیر (اصوات ناشی از فعالیت‌های طبیعی زیستی و غیرزیستی در محیط‌های آبی) بسیار گسترده‌تر می‌باشند (۳۱، ۴۱). بطور مثال اصوات تولیدشده ناشی از فعالیت‌های حمل و نقل کشتی رانی تجاری، قایق‌رانی‌های تفریحی در نواحی ساحلی دریا، رودخانه و دریاچه‌ها، توربین‌های بادی جهت استحصال انرژی الکتریسیته، پمپ‌های تنظیم سطوح آب سدها که بیشتر در دامنه فرکانس‌های پایین متمرکز هستند را می‌توان نام برد (۶، ۲۲). همچنین اکوساندرهای ماهی‌یاب شیلات و صید و صیادی، اصوات تولیدشده در فعالیت‌های لرزه‌نگاری و معدن شناسی، صنایع نفت و گاز، اقیانوس‌شناسی، زمین‌شناسی و فعالیت‌های نظامی نیروی دریایی از سونار و رادارهای زیردریایی‌ها نیز از سایر منابع عمده صوتی در محیط‌های آبی می‌باشند که بیشتر در دامنه فرکانس‌های پایین (مادون صوت) و بالا (ماورا صوت) متمرکز می‌باشند. بررسی‌ها نشان داده است که دامنه صوتی تولید شده ناشی از عمده فعالیت‌های انسانی که نام برده شد در محدوده شنوایی

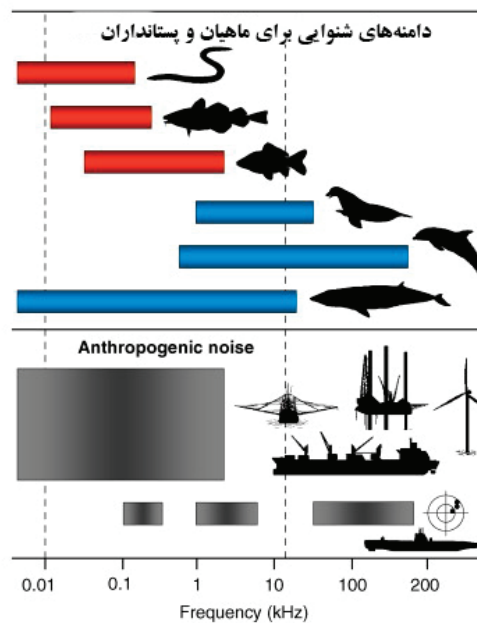
گونه ماهی، ساختار جمعیت و اجتماعات زیستی آن‌ها، جنسیت، اندازه بدن و اهداف مورد نظر برای تولید اصوات می‌باشد (۲۸). سیستم‌های شنوایی برای آن دسته از ماهیان و سایر بی‌مهره‌گان آبی که توانایی بینایی آن‌ها در محیط زیستشان محدود می‌باشد بطور بویژه اهمیت خاصی پیدا می‌کند. اصوات تولید شده توسط منابع صوتی مختلف و متنوع در محیط زیست اطلاعات ارزشمندی از محیط زیست اطراف مرتبط با بقاء، جفت‌یابی، پیدا کردن طعمه و صید و همچنین دوری و فرار کردن از شکارچی ارایه می‌نماید. البته لازم به ذکر است که منابع عمده اصوات زمینه (Background noise) شامل مجموعه‌ای از اصوات زمینه با منشأ زیستی (فتوستنتز و اصوات تولید شده توسط موجودات آبی) و غیر زیستی (جریان‌های آبی، بارندگی، حرکات امواج و زمین لرزه) در محیط‌های زیست طبیعی گونه‌های ماهی‌ها بویژه گونه‌هایی که در محیط‌های دریایی (۲۵) و همچنین در محیط‌های آب شیرین (۲۱) می‌باشند. این دسته از اصوات نیز می‌توانند بعنوان شاخص‌های جهت‌یابی و مهاجرتی توسط گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

مهم‌ترین اندام‌هایی که به تولید اصوات تخصیص داده شده است شامل ماهیچه‌های صوتی کیسه‌شنا می‌باشد. در این دسته ماهیچه‌های صوتی

کوچک ویژه (Weberian ossicles) به بخش گوش داخلی منتقل شوند. همچنین در برخی گونه‌های ماهیان ممکن است ساختارهای تمایز یافته کیسه‌شنا به گوش داخلی نزدیک شوند (۴). بطور کلی بهترین دامنه شنوایی ماهی‌ها بین فرکانس‌های ۱۰۰-۳۰ هرتز می‌باشد که البته گونه‌هایی با ساختارهای ریخت‌شناسی اختصاصی و تکامل یافته‌تر قادر به دریافت دامنه‌های صوتی بین فرکانس‌های ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز هم می‌شوند (۱، ۱۶، ۳۱).

توانایی تولید صوت در ماهی‌ها

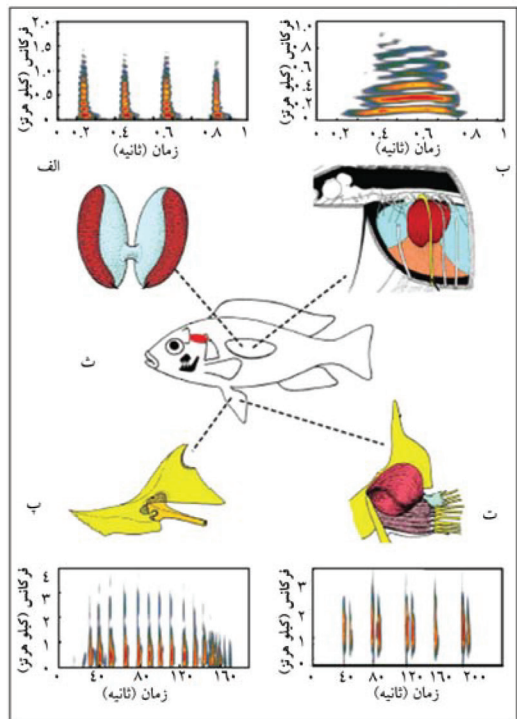
اندام‌های دریافت صوت در تمامی ماهی‌ها شناخته شده و تمامی گونه‌های ماهیان دارای ساختار گوش داخلی و قادر به دریافت صوت هستند. البته برخی از گونه‌های ماهی‌ها همچنین توانایی تولید تنوع بالایی از اصوات با استفاده از مکانیسم‌های مختلف را نیز دارا می‌باشند (۱، ۱۶، ۴۴). در مقایسه با سایر مهره داران، ماهی‌ها از نظر تنوع و گوناگونی مکانیسم‌های تولید صوت بسیار متمایز هستند. بیش از ۸۰۰ گونه از ۱۰۰ خانواده ماهی‌ها قابلیت و توانایی تولید صوت را دارا می‌باشند (۱، ۲، ۱۶، ۴۴). ویژگی‌های اصوات تولید شده توسط ماهی‌ها بطور گسترده‌ای مرتبط با



شکل ۱. تنوع دامنه شنوایی برخی از گونه‌های ماهی‌ها و پستانداران دریایی. دو خط تیره عمودی نشان دهنده محدوده شنوایی انسان می‌باشد. ستون‌های افقی قرمز از بالا به پایین به ترتیب بیانگر دامنه شنوایی مارماهی مهاجر اروپایی (European eel)، ماهی کاد (Atlantic cod) و ماهی کپور طلایی (Goldfish) می‌باشند. ستون‌های افقی آبی از بالا به پایین به ترتیب بیانگر دامنه شنوایی پستانداران دریایی شامل شیر دریایی کالیفرنایی (California sea lion *Zalophus californianus*)، دلفین پوزه بتری شکل (Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*) و وال باله‌ای (fin whale *Balaenoptera physalus*) می‌باشد. همچنین ستون‌های میله‌ای خاکستری بیانگر دامنه آلاینده‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی (کشتی رانی، ناوبری، صیادی و صنعتی) می‌باشد که بطور عمده همپوشانی با دامنه شنوایی آبیان مختلف دارد (۷). شکل ۱ اقتباس شده و با اجازه از (۱۴).

که پراکنش انرژی صوتی تولید شده آن‌ها معمولاً بسته به مکانیسم به کارگیری شده جهت تولید صوت متفاوت می‌باشد (۲۷). اصوات تولید شده توسط کیسه شنا بصورت ساختار هارمونیک بوده و بمدت چند میلی ثانیه تا چند دقیقه می‌باشند و بیشترین انرژی آن‌ها در دامنه فرکانس کمتر از ۵۰۰ Hz متمرکز شده است. در حالی که اصوات ایجاد شده با منشا باله سینه‌ای و متعلقات آن پالس‌هایی در دامنه فرکانس‌های بالاتری نسبت به کیسه شنا تولید می‌کنند. انرژی این دسته از صوت‌های تولید شده در دامنه فرکانس تا چند کیلو هرتز گسترده می‌شود که بیشترین این انرژی در دامنه چند صد هرتز تا حتی بالای یک کیلو هرتز متمرکز شده است. در مجموع ماهی‌ها غالباً انواع مختلف و متفاوتی از اصوات را تولید می‌کنند که با توجه به کاربرد آن قادر به تغییر طول دوره، الگوهای فاصله زمانی تولید پالس‌ها و همچنین شدت صوت تولیدشده می‌باشد (۱). با توجه به شدت صوت، طول مدت قرار گرفتن در معرض صوت، فاصله ماهی‌ها تا منبع صوت، دامنه

از نظر ریخت‌شناسی می‌توانند بطور مستقیم با کیسه شنا اتصال پیدا کرده باشند مثل قورباغه ماهیان (Pimelodid Catfish) (Intrinsic Type) و یا در قسمت‌های بیرونی کیسه شنا شکل یافته و به جداره بیرونی متصل شده باشند مثل ماهی پیرانا و گربه ماهیان (Doradid Catfishes and Piranhas) (Extrinsic Direct Type). دسته دوم شامل استخوان‌های باله سینه‌ای به همراه خارها و استخوان‌های دنده‌ای می‌باشند که توانایی تولید اصوات را دارند. البته ماهیچه‌های مرتبط با تولید صوت در این دسته از ماهی‌ها همچنین وظیفه انجام فعالیت‌های شناگری را هم دارند مثل بسیاری از گربه ماهیان و گورامی‌ها. دسته سوم که کاملاً متفاوت با مکانیسم‌های ذکر شده قبلی است شامل استفاده از دندان‌های حلقی برای تولید صوت می‌باشد که در خورشید ماهیان و سیکلیدها و دلک ماهیان بصورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲) (۲۷). تولید صوت توسط ماهی‌ها شامل یکسری پالس‌هایی می‌باشد



شکل ۲. تنوع مکانیسم‌های مختلف تولید صوت در ماهی‌ها و پروفایل صوت شناسی اصوات تولید شده توسط هریک از مکانیسم‌ها. (الف) ماهیچه‌های داخلی تولید کننده اصوات متصل به هر دو طرف داخلی کیسه شنا در قورباغه ماهی (*Halobatrachus* Lusitanian toadfish). (ب) ماهیچه‌های خارجی تولید صوت منشا گرفته از دومین استخوان دنده‌ای و تاندون‌های کششی متصل به کیسه شنا در ماهی پیرانای سیاه (*Serrasalmus rhombeus* Black piranha). (پ) مکانیسم تولید صوت در گربه ماهی شامل قسمت‌هایی سخت پشتی خارهای باله سینه‌ای در قسمت شیاری کمربند شانه‌ای. (ت) تاندون‌های مستحکم شده باله سینه در ماهی گورامی (*Croaking gourami*). (ث) دندان‌های حلقی در فرشته ماهی‌ها و خورشید ماهی و همچنین لرزش کمربند‌های شانه‌ای در ماهی‌های اسکولپین توسط ماهیچه‌های صوتی با منشاء جمجمه ماهی تولید صوت می‌نمایند. قسمت قرمز رنگ ماهیچه‌های صوتی و ناحیه سیاه رنگ دندان‌های حلقی ماهی می‌باشد. شکل اقتباس و اصلاح شده از: (۲)، (۶۱)، (۸۱).

است اصوات در دوره های خاصی از زندگی ماهی ها نسبت به سایر مراحل زیستی تاثیرات مخرب بیشتری داشته باشند (۴۱).

اثرات فیزیکی و تغییرات فیزیولوژیکی

قرار گرفتن در معرض شدت بالای آلاینده های صوتی بویژه اصوات با دوره کوتاه مدت و شدید تولید شده در نزدیکی منابع تولید کننده صوت می تواند باعث مرگ، بروز آسیب های شدید فیزیکی و تغییرات فیزیولوژیکی حاد و مزمن گردد (۱۱). آلاینده های صوتی با شدت زیاد و انرژی بالا می توانند باعث تخریب کامل یا نسبی اندامها و بافت های داخلی شامل آبششها، خونریزی در کیسه شنا، ماهیچه ها، کبد، روده ها اندام های تولید مثلی و کلیه گردند (۱۱). آلاینده های صوتی می توانند همچنین باعث بروز یکسری تغییرات فیزیولوژیکی در گونه های مختلف ماهی ها گردند. برای مثال اصوات تولید شده در محیط آزمایشگاهی منجر به افزایش میزان هورمون های کلاسیک و شاخص استرس مثل کورتیزول و همچنین میزان گلوکز خون در گونه های ماهیان آب شیرین (۴۹) و افزایش پارامترهای متابولیکی خون در ماهی باس دریایی (*Dicentrarchus labrax*) گردد (۵). علاوه بر این، شدت و سطوح بالای آلاینده های صوتی می تواند باعث تخریب و آسیب به اندام های شنوایی و مکانیسم های عملکردی آن در ماهی ها گردیده و همچنین تغییرات کوتاه مدت (Temporary Threshold Shifts TTS) (۴۹) و یا تغییرات بلند مدت یا دائمی (Permanent Threshold Shifts PTS) در توانایی دریافت، تشخیص صوت و آستانه شنوایی بروز نماید (۵۰).

اثرات همپوشانی

آلاینده های صوتی با شدت بیشتر و مدت طولانی تر می تواند باعث اثرات همپوشانی (Masking effects) (۶،۵۰) و تغییرات رفتاری (Behavioural changes) (۲۹) بسیاری از گونه های ماهی ها شوند. بسیاری از گونه های ماهیان در طول دوره های تولید مثلی بویژه در زمان جفت یابی از مکانیسم های مختلف تولید اصوات برای ارتباط با جنس مخالف استفاده می کنند. یکی از اثرات اختصاصی آلاینده های صوتی در این دسته از گونه ها می تواند کاهش کارایی تولید مثلی به دلیل همپوشانی آلاینده های صوتی ناشی از فعالیت های انسانی با سیگنال های و علائم صوتی تولید مثلی آنها باشد. معمولاً اصواتی که گونه های ماهیان تولید می کنند دارای پهنای باند فرکانس گسترده ای است که بیشترین میزان انرژی آن در فرکانسهای کمتر از ۵۰۰ هرتز متمرکز شده است. تنوع و گوناگونی در ویژگیهای فرکانس ها و تناوب های زمانی اصوات تولید شده با توجه به نوع گونه ها (۴۱)، جمعیت ها (۲۸) و جنس (۴۵) بسیار متفاوت و گسترده می باشد. این تنوع و گوناگونی دامنه تولید اصوات با دوره های تناوبی متفاوت می تواند بیانگر اهمیت و نقش اختصاصی صوت به عنوان ابزار مهم اطلاع رسانی در ایجاد ارتباطات صوتی درون گونه ای و بین گونه ای ماهی ها می باشد (۴۴). اصوات تولید شده توسط ماهی ها می تواند با هدف دفاع از قلمرو زیستی، رقابت های غذایی و همچنین در رفتار های موقعیت یابی گونه شکار و فرار از شکارچی باشد. البته عمده اصوات تولید شده ماهی های می تواند مربوط به ایجاد توجه در جنس مخالف در طی فرایند جفت یابی، فعالیت های تولید مثلی (۳۶) و جفتگیری (۲۳) باشد. واضح می باشد که اگر اصوات تولید شده توسط گونه های ماهیان پتانسیل انتقال و

شنوایی و آستانه شنوایی ماهی و همچنین گونه های ماهی ممکن است به روش های متفاوتی تحت تاثیر آثار مخرب آلاینده های صوتی قرار بگیرند که در ادامه به ذکر عمده این موارد پرداخته می شود.

اثرات آلاینده های صوتی بر ماهی ها

مطالعات اخیر نشان دهنده افزایش به مراتب قابل توجه صدای زمینه (Ambient noise) در محیط های زیست دریایی و اقیانوسی و منابع آب شیرین می باشد (۲۲). تحقیقات انجام شده نشان می دهد که ماهی ها نسبت به اثرات آلاینده های صوتی حساس و تاثیر پذیر هستند. همانطور که در بخش قبلی ذکر شد ماهی ها با استفاده از اندام های شنوایی قادر به تشخیص و ادراک اصوات بوده و از اصوات در بسیاری از فعالیت های زیستی خود بهره برداری می کنند (۴۱). جانوران آبی شامل ماهی ها می توانند به روش های مختلفی تحت تاثیر پیامدهای مخرب آلاینده های صوتی قرار گیرند (۳۲). صداهای با شدت زیاد و دوره کوتاه مثل صداهای تولید شده توسط چکش های عظیم سکوهای حفاری و انفجارهای ناگهانی در محل استخراج فراورده های نفتی می توانند باعث بروز آسیب های شدید فیزیکی در گونه های ماهیان مستقر در نزدیکی محل ایجاد صوت گردد. اگرچه صداهای با شدت متوسط و دوره زمانی طولانی تر همانند اصوات تولید شده در نتیجه فعالیت های حمل و نقل دریایی و تردد کشتی ها و توربین های عظیم آبی و بادی و پمپ های آبی می توانند به طور بالقوه در مناطق و محدوده های وسیع تری گسترش پیدا کرده و در نتیجه تعداد و تنوع جمعیت های بیشتری از گونه های ماهی ها را تحت تاثیر آثار مخرب ناشی از صوت قرار دهند. بنابراین تحقیق ها و مطالعات بیشتری نیاز است تا به بررسی اهمیت و نقش اصوات بطور کلی در مراحل مختلف زیستی گونه های ماهی ها و بطور اختصاصی به نحوه بکارگیری اصوات توسط ماهی ها در جهت موقعیت یابی و تصمیم گیری شان بپردازند (۷).

همانطور که در قسمت قبلی ذکر شد علاوه بر این که نتایج تحقیقات اثرات اصوات با شدت صوت بالا با دوره زمانی کوتاه مدت بر اجتماعات ماهی ها حایز اهمیت هستند، اصوات با شدت صوت پایین با دوره زمانی بلند مدت با توجه به دامنه و وسعت زمانی و مکانی گسترده تر می تواند اثرات بیشتری را نسبت به گروه قبلی دارا باشند. در نتیجه به نظر می رسد مطالعات گسترده تر بر اصوات با شدت صوت پایین با دوره زمانی بلند مدت از اولویت بالاتری در بررسی پتانسیل اثرگذاری بر گونه های ماهی ها و سایر آبیان برخوردار باشد. به طور ویژه بررسی این موضوع که آیا ماهی ها از نظر رفتار شناسی و فیزیولوژیکی تحت تاثیر افزایش فزاینده جهانی سطح آلاینده های صوتی و یا نوع بخصوص از آن قرار می گیرند و چه راهکارهایی جهت کاهش این اثرات مخرب می توان متصور گردید و انجام داد مورد توجه بسیاری از محققین علوم زیستی - دریایی و انجمن های حفاظت محیط زیست و همچنین سیاست گذاران قوانین محیط زیست قرار گرفته است. شواهد حاصل از تحقیقات و پژوهش ها نشان دهنده این حقیقت می باشد که برخی از گونه های ماهی ها نسبت به سایر گونه ها بیشتر تحت تاثیر آثار مخرب صوت قرار می گیرند. البته ممکن است در ویژگی های زیستی گونه های دیگر تغییری ایجاد نشود. همچنین برخی از اصوات با ویژگی های فیزیکی مشخص (شدت صوت، فرکانس صوت و تناوب زمانی) آثار مخرب تری بر ماهی ها نسبت به سایر اصوات دارا می باشند. حتی ممکن

کشتی های صیادی، بر میزان و راندمان صید تاثیر گذار بوده است (۲۰). البته در بسیاری از موارد ممکن است بدلیل اهمیت استراتژیک و جغرافیایی و همچنین تمرکز متراکم منابع غذایی، بسترهای تولیدمثلی مناسب و یا مناطق استراحت گاهی در مکان های مشخص، گونه های ماهیان علیرغم وجود آلاینده های صوتی در این مناطق مهم زیستی اجتماعات موقت و یا دایمی را تشکیل دهند. در حال حاضر مطالعات اندکی در دست می باشد که نشان دهنده ارتباط مستقیم بین تولید و در معرض قرار گرفتن آلاینده های صوتی با تراکم و پراکنش ماهی ها در محیط های آزمایشگاهی، پرورشی و آبهای طبیعی می باشد. مطالعه اخیر نویسنده و همکاران نشان داده است که اصوات توانایی بروز تغییرات رفتاری و تغییر پراکنش مکانی و سرعت شنا ماهی زبرا و سیکلید را در محیط آکواریومی دارد (۳۹،۴۰). علاوه بر آن در بررسی های اخیر اصوات تولید شده ناشی از فعالیت های کشتیرانی باعث واکنش های فرار و شنای سریع افقی و عمودی در جهت فاصله گرفتن از منبع صوتی گزارش شده است (۱۲). در مطالعه ای دیگر آلودگی صوتی ناشی از قایق ها بر ماهی تون باله آبی (*Thunnus thynnus*) محصور در محیط های پرورشی دریایی باعث کاهش تراکم و تعداد هر ماهی در گله و کاهش حرکت های گروهی ماهی ها گردید و ماهی ها بصورت انفرادی با شنای سرعتی به سمت سطح و یا عمق آب حرکت کردند (۳۵). همچنین انفجارهای ناشی از فعالیت های لرزه نگاری منجر به کاهش میزان صید صنعتی گونه های ماهیان با ارزش شیلاتی به روش رشته قلاب ها (Long lines) و ترالر ها (Trawler) گردید (۴۳).

اگرچه همچنین شواهدی وجود دارد که ماهی های صخره های مرجانی پس از قرار گرفتن در معرض صداهای ناشی از انفجارهای لرزه نگاری همچنان در منطقه و قلمرو تحت محافظتشان باقی ماندند (۴۷). در برخی موارد هم دیده شده است که ماهی ها در برخی نواحی قرار گرفته در معرض انواع آلاینده های صوتی تجمع متراکمی را تشکیل می دهند و به دنبال پناهگاه و یا پیدا کردن منابع غذایی هستند. اگرچه تاکنون با توجه به نتایج تحقیقات و مطالعات گونه های ماهی هایی که در نواحی رودخانه ای و پل ها در معرض آلاینده های صوتی قرار دارند و همچنین گونه های ماهیانی که اطراف کشتی ها و قایق ها پراکنش دارند اثرات شدید تغییرات رفتاری را نشان نداده اند ولی ممکن است بازخوردها و پیامد های منفی ناشی از آلاینده های صوتی همیشه در کوتاه مدت مشخص و واضح نباشد (۳۹،۴۰،۴۱). بسیاری از مطالعات انجام شده بر ماهی ها در محیط های محصور و آزمایشگاهی نشان دادند که اصوات تولید شده آزمایشگاهی و همچنین قایق های موتوری و کشتی ها در کوتاه مدت باعث ایجاد یکسری تغییرات فیزیولوژیکی شامل افزایش ترشح و آزاد سازی هورمون های شاخص استرس شامل کورتیزول می گردد (۴۹). سایر مطالعات اخیر در خصوص بررسی شاخص های استرس در ماهی های استفاده شده در محیط های محصور و آزمایشگاهی هم نشان دهنده افزایش تعداد ضربان قلب مرتبط با تاثیرات آلاینده های صوتی (۹) و ایجاد تغییرات در پارامتر های خونی مرتبط با افزایش متابولیسم و سوخت و ساز ماهیچه ها می باشد (۵). اگرچه در تفسیر این نتایج به سایر گونه ها و ماهیانی که در محیط های آبی طبیعی و آزاد زندگی می کنند باید جدا اجتناب نمود (۳۸،۴۱). به این خاطر که اولاً پاسخ گونه های ماهیان به محرک ها و استرس های صوتی بسیار اختصاصی و منحصر به گونه می تواند باشد و ثانیاً ماهیان

تبادل اطلاعات درون گونه ای در زمینه تولید مثلی داشته باشند، مشکلات دریافت، ادراک و شناخت اصوات در نتیجه حضور آلاینده های صوتی ناشی از فعالیت های انسانی می تواند بازخوردهایی منفی و اثر گذار در زمینه موفقیت تولیدمثلی گونه های ماهیان داشته باشند (۵۰). برای مثال اصوات تولید شده در نتیجه فعالیتهای کشتیرانی منجر به کاهش قدرت تشخیص، دریافت و یا مسافت ادراک صوت و در نتیجه کاهش کارایی در برقراری ارتباطات درون گونه ای گردید. این اثر می تواند به دلیل اثرات همپوشانی آلاینده های صوتی با سیگنال های ارتباطی ارسال شده توسط گونه ها و همچنین کاهش قدرت شنوایی دریافت کننده به دلیل افزایش میزان آلاینده های صوتی باشد (۶). همین امر می تواند باعث کاهش قدرت جلب توجه جنس مخالف در ماهی های با توانایی تولید صوت نیز گردد. البته شواهدی از اثرات همپوشانی صوت بر کاهش قدرت جلب توجه و در نتیجه کاهش راندمان تولید مثلی جنس مخالف در پرندگان (۱۰) و قورباغه ها (۳) وجود دارد. علاوه بر بروز و ایجاد اختلالات در فعالیت های تولیدمثلی، جفت یابی و ارتباطات درون گونه ای مرتبط با صوت، اثرات همپوشانی می تواند همچنین باعث بروز اختلالات در قابلیت موقعیت یابی و تعیین جهت گله های ماهیها در زمان مهاجرت و تبادلات بین گونه ای رابطه های شکار-شکارگری برپایه اصوات گردد (۴۱).

تغییرات رفتاری

آلاینده های صوتی ناشی از فعالیت های انسانی با شدت صوت کمتر در گستره وسیع تر می تواند اثرات مخرب گوناگونی بر رفتار ماهی ها داشته باشد. آلاینده های صوتی می تواند منجر به تغییر پراکنش مکانی گونه ها در محیط های آزمایشگاهی (۳۸،۴۰ و ۴۰) و محیط های آزاد (۲۶) گردد. مطالعات نویسنده و همکاران در بررسی اثرات آلاینده های زیستی روی رفتار ماهی نشان داده است که با آغاز پخش صوت سرعت شنای ماهی زبرا (*Danio rerio*) به همراه تغییر جهت مسیر شنا بطور ناگهانی و لحظه ای (چند ثانیه) افزایش پیدا کرد. همچنین اصوات باعث افزایش میزان خطا در قدرت شکارگری و صید طعمه (دافنی) توسط ماهی زبرا گردید (۳۷،۳۸). سایر تحقیقات انجام شده بر گونه های دیگر ماهی ها نیز بیانگر اثرات منفی صوت بر رفتار شکار-شکارگری می باشد که شامل کاهش میزان راندمان شکار است (۴۶). همچنین در مطالعه ای دیگر توسط نویسنده و همکاران مشخص شد که پخش اصوات الگوبرداری شده از فعالیت های کشتی رانی باعث بروز برخی تغییرات متفاوت و برخی تغییرات مشابه رفتاری شامل سرعت شنا، رفتارهای مرتبط با استرس و پراکنش مکانی در دو گونه ماهی با قابلیت شنوایی متفاوت گردید که نتایج حاصل اهمیت بررسی مقایسه ای اثرات صوت بر گونه های مختلف را بیشتر روشن می سازد (۳۹).

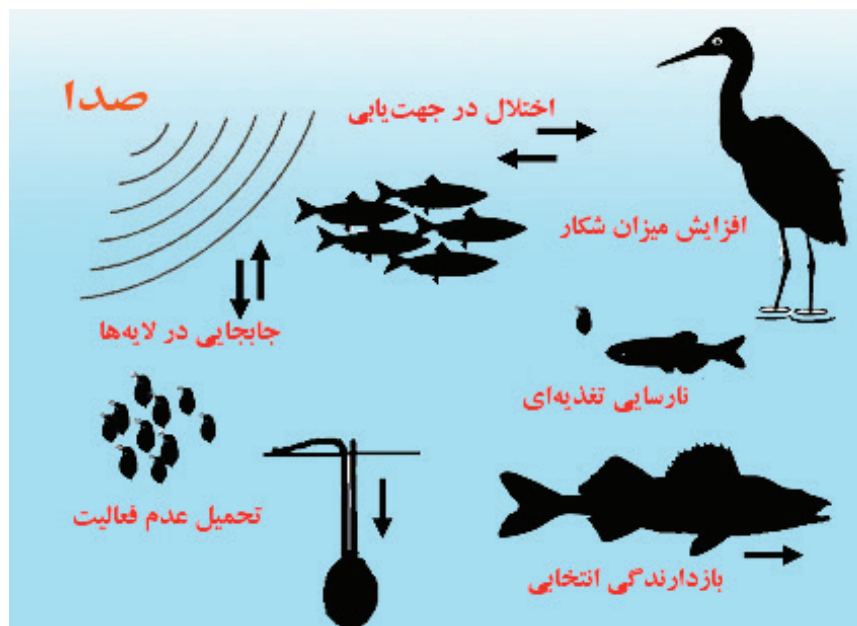
منابع صوتی می توانند موجب دور شدن گونه ها از موقعیت مکانی (افقی و عمودی در ستون آب) در مناطق ویژه و با اهمیت تولیدمثلی گردد. بطوریکه اجتماعات ماهی ها زمان کمتری را در مناطق آلوده به اصوات سپری می کنند و میزان مواجهه زمانی درون گونه ای جهت برقراری ارتباطات تولیدمثلی کاهش یافته و در نتیجه می تواند اثرات منفی بر موفقیت تولیدمثلی و بقاء گونه های ماهی ها داشته باشد. همچنین مطالعات انجام شده بیانگر این موضوع می باشد که افزایش گسترده میزان آلاینده های صوتی در نتیجه فعالیت های شیلاتی و صید صنعتی توسط

همانند گونه سیکلید *Aulonocara* (peacock cichlids) به خوبی توانایی تشخیص و شناسایی گونه های صید مخفی شده در لایه های تحتانی شن و ماسه و رسوبات کف بستر را دارا می باشند (۱۵). در سایر گونه ها توانایی شنوایی دامنه وسیعی از صوت با قابلیت دوری و فرار موفق از صیاد مرتبط بوده است. به عنوان مثال گونه ای از شگ ماهیان از خانواده (Clupeidae) و جنس *Alosa* توانایی شناخت و دریافت اصوات اولترا (تا ۱۸۰ kHz) را دارا می باشند تا بتوانند با استفاده از اکولوکیشن والها را تشخیص داده و شناسایی نموده و از محل حضور این شکار گران حرفه ای فرار کنند (۳۳). همچنین مطالعات نشان داده است که مار ماهی مهاجر اروپایی (*Anguilla anguilla*) و سالمونیدها توانایی دریافت و دوری (فرار از منبع صوتی) از اصوات با فرکانس های کم (زیر ۲۰ Hz) را که در اثر نزدیک شدن گونه های شکارگر تولید می شود دارا می باشند (۳۴).

در حال حاضر مطالعات اخیر در خصوص اثرات اصوات ناشی از فعالیتهای انسانی بر رفتار گونه های ماهی ها نشان دهنده این موضوع می باشد که بسیاری از گونه های ماهی ها تغییرات رفتاری متعدد و اختصاصی در پاسخ به محرک های صوتی با الگوهای زمان متفاوت نشان می دهند (۳۹، ۴۰، ۳۸، ۳۷، ۲۶). بررسی های قبلی در محیط های کنترل شده آزمایشگاهی نشان دهنده این موضوع می باشد که اصوات تولید شده با فاصله تناوب بین پالس ها (اصوات متناوب) الگوی برداری شده از اصوات ناشی از انفجارهای

در محیط های طبیعی زیست شان امکان دوری از عوامل استرس ها را و کاهش اثرات زیستی منفی حاصل از صوت را بوسیله جابجایی و دور شدن از محل و منبع صوتی دارا می باشند. هرچند شواهد به دست آمده در محیط های آزمایشگاهی می تواند نشان دهنده این موضوع باشد که آلاینده های صوتی در محیط های آبی آزاد و طبیعی هم می توانند به عنوان پتانسیل بالقوه یک عامل استرس زا مطرح باشند. استرس ناشی از آلاینده های صوتی ممکن است همانند سایر استرسور های محیطی بطور مستقیم بر رشد و مراحل تولیدمثلی و بصورت غیرمستقیم بر ساختار جمعیتی گونه ای ماهی ها تاثیرگذار باشد (۳۰).

شنیدن، تشخیص مکان و جهت یابی منبع صوت می تواند برای اهداف مختلف آبریان مزایای متعددی داشته باشد. این مزایا می تواند شامل تعیین محل صید برای برخی گونه ها (شکارچی) و جلوگیری از صید شدن برای سایر گونه ها (شکار) باشد (۳۸، ۴۱). برای مثال کوسه ماهیان و سایر ماهیان غضروفی شکارچی اگرچه قدرت شنوایی نسبتا محدودتری نسبت به سایر ماهی ها دارند ولی توانایی نزدیک شدن به اصوات تولید شده توسط گونه های صید را دارا می باشند (۲۴). همچنین ماهیپانی که از سطوح آب تغذیه می کنند توانایی تشخیص مکان غذا و صید گونه هدف را با توجه به امواج تولیدشده توسط برخورد گونه صید به سطح آب را دارند (۱۴). برخی از گونه های ماهیان که از سطوح تحتانی و کفی تغذیه می کنند



شکل ۳. پیامدهای گوناگون آلاینده های صوتی که می تواند در سطوح مختلف اجتماعات زیستی و مجامع اکولوژیکی بطور گسترده ای تاثیرگذار باشند. آلاینده های صوتی ناشی از فعالیت های انسانی می توانند باعث برهم کنش های گونه ای مختلف در میان گونه های شکار و شکارگر و یا رقابت بین گونه ای به روشهای مختلف و زنجیره ای در سطوح مختلف غذایی اکوسیستم محیط های آبی گردد. شکل افتباس و اصلاح شده از: (۳۸).

گونه ها ضروری می باشد.

بنابراین در ادامه این بخش تاکید می گردد که محققین جهت بررسی پتانسیل اثرات آلاینده های صوتی بر گونه های ماهی ها و سایر آبزیان می توانند از نتایج تحقیقات مشابه انجام شده و در حال حاضر در دسترس بدست آمده و ارزشمند بر سایر حیوانات خشکی زی و در اندازه محدود تر پستانداران دریایی استفاده نمایند. بویژه دستاورد های حاصل از مطالعات گسترده انجام شده بر پرندگان می تواند الگو و راهنمایی خوبی جهت طراحی آزمایش ها و پرسش های متداول و پایه ای در این زمینه را ارائه نمایند (۴۱). با توجه به شباهت های زیاد سیستم های شنوایی در موجودات و توانایی های مشابه تمامی مهره داران تا حدود گسترده دور از انتظار نمی باشد که شباهت هایی در زمینه اثرات فیزیولوژیکی و رفتاری آلاینده های صوتی بر گونه های مهره داران مشاهده شود (۷). علاوه بر این، جهت درک و شناخت بیشتر مفاهیم پایه ای زیست شناسی و پتانسیل اثرات اصوات بر ویژگیهای زیستی و شاخص های رفتاری گونه ای ماهی ها مطالعات در محیط های کنترل شده آزمایشگاهی به همراه تحقیقات میدانی بیشتری پیشنهاد می شود (۳۸، ۴۱).

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از تمامی همکاران در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، اداره کل دانش آموزان و همچنین همکاران و محققین در دانشگاه لایدن (Leiden University)، دانشگاه واخنینگن (Wageningen University)، موسسه تحقیقات علوم ایمارس (IMARES) و آکادمی علوم و تحقیقات هلند (TNO) تشکر و قدردانی می گردد. همچنین نویسنده بر خود لازم می داند تا از داوران محترم بخاطر نظرات سازنده و ارزشمند خود در مراحل داور این مقاله مروری تشکر و قدردانی نماید.

منابع مورد استفاده

1. Amorim, M.C.P., 2006. Diversity of Sound Production in Fish. *Diversity 1*, 71-105.
2. Bass AH, Ladich F: Vocal-acoustic communication: from neurons to behavior. In *Fish Bioacoustics*. Edited by Webb JF, Fay RR, Popper AN. Springer; 2008:253-278.
3. Bosch, J., Márquez, R., 2000. Acoustical interference in the advertisement calls of the midwife toads (*Alytes obstetricans* and *Alytes cisternasii*). *Behav.*, 137, 249-263. doi:10.1163/156853900502060
4. Braun CB, Grande T: Evolution of peripheral mechanisms for the enhancement of sound reception. In *Fish Bioacoustics*. Edited by Webb JF, Popper AN, Fay RR. Springer; 2008:99-144.
5. Buscaino, G., Filiciotto, F., Buffa, G., Bellante, A., Stefano, V. Di, Assenza, A., Fazio, F., Caola, G., Mazzola, S., 2010. Impact of an acoustic stimulus on the motility and blood parameters of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Mar. Environ. Res.* 69, 136-142.
6. Codarin, A., Wysocki, L.E., Ladich, F., Picciulin, M., 2009. Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in

متناب و چکش های سکوهی حفاری تاثیر به مراتب بیشتری نسبت به اصوات پیوسته ممتد با الگوی مطابق با اصوات ناشی از پمپ های آب توربین های تولید الکتریسیته بر رفتار ماهی ها می باشد. برای مثال در مطالعه اخیر نویسنده و همکاران نشان داده شد که اصوات تولید شده در شرایط آزمایشگاهی، با الگوبرداری از آلاینده های صوتی موجود در محیط های طبیعی، و الگوهای زمانی متفاوت شامل پیوسته و متناب تاثیرات متفاوتی بر رفتار شناگری و کیفیت و کارایی رفتار شکار-شکارگری ماهی زبرا و دافنی داشته است (۳۷). نتایج این بخش تایید کننده احتمال اثرات پخش صوت فراتر از تک گونه و به نوعی بر روی گونه های مختلف جانوران می باشد. آلاینده های صوتی اثرات منفی بر کیفیت و کارایی تغذیه و شکار گری سایر گونه های ماهیان نیز داشته است (۴۶). گونه های متفاوت ماهی ها با توجه به ویژگی های زیستی شان ممکن است پاسخ های رفتاری متفاوتی به محرک های صوتی نشان دهند. در مطالعه ای دیگر پتانسیل اثرات صوت بر روی دو گونه مختلف ماهی، ماهی زبرا و ماهی سیکلید دریاچه ویکتوریا آفریقا، بررسی شد. این دو گونه از نظر رفتار های شناگری و دامنه شنوایی کاملا متفاوت از یکدیگر می باشند. یافته های این تحقیق نشان دهنده اثرات معنی دار پخش صوت بر رفتار هر دو گونه ماهی می باشد. بطوریکه این تغییرات رفتاری در بین دو گونه گاهی اوقات مشابه و گاهی اوقات کاملا متفاوت بودند (۳۹). علاوه بر آلاینده های صوتی، آلاینده های نوری ناشی از فعالیت های انسانی هم به طور گستره وارد محیط های آبی شده اند. در مطالعه ای دیگر توسط نویسنده تغییرات رفتاری ماهی زبرا در پاسخ به محرک های صوت و نور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که هر کدام از عوامل محیطی (صدا و نور) تاثیرات ویژه، منحصر به فرد و خاص خود را به طور مستقل از عامل محیطی دیگر بر رفتار ماهی اثر بخش می نماید. بطور کلی گونه های مختلف ماهی ها ممکن است پاسخ و عکس العمل های رفتاری متفاوتی به محرک های صوتی نشان دهند (۴۰). اگرچه دانستن اثر و مکانیسم های خاص این تغییر رفتار های مشاهده شده نیازمند مطالعات بیشتر و گسترده بر روی گونه های متنوع و همچنین اندازه گیری فاکتور های فیزیولوژیکی و تحقیقات مداوم و طولانی تر می باشد.

نتیجه گیری

واضح است که اصوات می توانند برای گونه های ماهیان نقش های مهمی ایفا کنند و افزایش صدای پس زمینه محیط های آبی می تواند پیامد ها و بازخوردهای منفی هم بصورت انفرادی و هم در سطح اجتماعات گونه ها داشته باشد. در محیط های خشکی نتایج تحقیقات نشان داده است که تغییرات ناشی از فعالیت های انسانی و افزایش سطوح صوت پس زمینه (Ambient noise) می تواند اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر موجودات داشته باشد و منجر به تغییرات در تراکم و تنوع گونه ای و اجتماعات جانوری و گیاهی می شود (۸). مطالعات بیشتر ممکن است نشان دهنده اثرات فزاینده و گسترده پخش صوت همچنین در سطوح اجتماعات گونه های آبزیان باشد. همانطوری که این اثرات فراگونه ای صوت بر روی اجتماعات گونه های خشکی زی به اثبات رسیده است. بنابراین مطالعات بیشتر بر روی گونه های دیگر و شناسایی فرکانس های صوتی قابل دریافت برای جانوران برای فهم کلیات یافته ها فراتر از شرایط فعلی

- three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy). *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1880–1887.
7. Fay, R.R., Popper, A.N., 2000. Evolution of hearing in vertebrates: The inner ears and processing. *Hear. Res.*
8. Francis, C. D., Kleist, N. J., Ortega, C. P., & Cruz, A. 2012. Noise pollution alters ecological services: enhanced pollination and disrupted seed dispersal. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1739), 2727e2735.
9. Graham, A.L., Cooke, S.J., 2008. The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 18, 1315–1324. doi:10.1002/aqc.941
10. Habib, L., Bayne, E.M., Boutin, S., 2007. Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of ovenbirds *Seiurus aurocapilla*. *J. Appl. Ecol.* 44, 176–184.
11. Halvorsen MB, Casper BM, Matthews F, Carlson TJ, Popper AN. 2012. Effects of exposure to pile-driving sounds on the lake sturgeon, Nile tilapia and hogchoker. *Proc Biol Sci.* 279:4705–4714.
12. Handegard, N.O., Michalsen, K., Tjøstheim, D., 2003. Avoidance behaviour in cod (*Gadus morhua*) to a bottom-trawling vessel, in: *Aquatic Living Resources*. pp. 265–270.
13. Hawkins AD: Underwater sound and fish behaviour. In *Behaviour of Teleost Fishes*. Edited by Pitcher TJ. Chapman and Hall; 1993:129-169.
14. Hoin-Radkovsky, I., Bleckmann, H., Schwartz, E., 1984. Determination of source distance in the surface-feeding fish *Pantodon buchholzi* *Pantodontidae*. *Anim. Behav.* 32.
15. Konings, A. (2001) *Malawi Cichlids in their Natural Habitat*, Cichlid Press
16. Ladich, F., 2014. Fish bioacoustics. *Curr. Opin. Neurobiol.*
17. Ladich F, Popper AN: Parallel evolution in fish hearing organs. In *Evolution of the Vertebrate Auditory System*. Edited by Manley G, Fay RR, Popper AN. Springer; 2004:95-127.
18. Ladich F, Fine ML: Sound-generating mechanisms in fishes: a unique diversity in vertebrates. In *Communication in Fishes*. Edited by Ladich F, Collin SP, Moller P, Kapoor BG. Science Publishers Inc.; 2006:3-43.
19. Ladich F, Fay RR: Auditory evoked potential audiometry in fish. *Rev Fish Biol Fisher* 2013, 23:317-364.
20. Løkkeborg, S., Ona, E., Vold, A., Salthaug, A., 2012. Sounds from seismic air guns: gear-and species-specific effects on catch rates and fish distribution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69 (8), 1278–1291.
21. Lugli, M., Fine, M.L., 2003. Acoustic communication in two freshwater gobies: ambient noise and short-range propagation in shallow streams. *J. Acoust. Soc. Am.* 114, 512–521.
22. McDonald, M. a, Hildebrand, J. a, Wiggins, S.M., 2006. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *J. Acoust. Soc. Am.* 120, 711–718.
23. McKibben, J.R., Bass, A.H., 1998. Behavioral assessment of acoustic parameters relevant to signal recognition and preference in a vocal fish. *J. Acoust. Soc. Am.* 104, 3520–3533.
24. Myrberg, A.A., 2001. The acoustical biology of elasmobranchs. *Environ. Biol. Fishes.*
25. Myrberg, A.A., 1990. The effects of man-made noise on the behavior of marine animals. *Environ. Int.* 16, 575–586.
26. Neo, Y. Y., Seitz, J., Kastelein, R. A., Winter, H. V., ten Cate, C., & Slabbekoorn, H. 2014. Temporal structure of sound affects behavioural recovery from noise impact in European seabass. *Biological Conservation*, 178,65e73.
27. Parmentier, E., Colleye, O., Fine, M., Frederich, B., Vandewalle, P., Herrel, A., 2007. Sound production in the Clownfish *Amphiprion clarkii*. *Science* (80-.). 316, 1006.
28. Parmentier, E., Lagardère, J.P., Vandewalle, P., Fine, M.L., 2005. Geographical variation in sound production in the anemonefish *Amphiprion akallopisos*. *Proc. Biol. Sci.* 272, 1697–1703.
29. Picciulin, M., Sebastianutto, L., Codarin, A., Farina, A., Ferrero, E.A., 2010. In situ behavioural responses to boat noise exposure of *Gobius cruentatus* (Gmelin, 1789; fam. Gobiidae) and *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758; fam. Pomacentridae) living in a marine protected area. *J. Exp. Mar. Biol.* 386, 125–132
30. Pickering, A.D., 1993. Growth and stress in fish production. *Aquaculture* 111, 51–63.
31. Popper, a. N., Hastings, M.C., 2009. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. *J. Fish Biol.* 75, 455–489.
32. Popper, A. N., Fewtrell, J., Smith, M. E., & McCauley, R. D. 2003. Anthropogenic sound: effects on the behavior and physiology of fishes. *Marine Technology Society Journal.*
33. Popper, A.N., Plachta, D.T.T., Mann, D.A., Higgs, D., 2004. Response of clupeid fish to ultrasound: A review, in: *ICES Journal of Marine Science*. pp. 1057–1061.
34. Sand, O., Enger, P.S., Karlsen, H.E., Knudsen, F., Kvernstuen, T., 2000. Avoidance responses of infrasound in downstream migrating European silver eels, *Anguilla anguilla*. *Environ. Biol. Fishes* 57, 327–336.
35. Sarà, G., Dean, J.M., D & apos; Amato, D., Buscaino, G., Oliveri, a., Genovese, S., Ferro, S., Buffa, G., Lo Martire, M., Mazzola, S., 2007. Effect of boat noise on the behaviour of bluefin tuna

- Thunnus thynnus* in the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 331, 243–253.
36. Saucier, M.H., Baltz, D.M., 1993. Spawning site selection by spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*, and black drum, *Pogonias cromis*, in Louisiana. *Environ. Biol. Fishes* 36, 257–272.
37. Shafiei Sabet, S. Neo, Y. Y. & Slabbekoorn, H. 2015. The effect of temporal variation in sound exposure on swimming and foraging behaviour of captive zebrafish. *Animal Behaviour* 107: 49-60.
38. Shafiei Sabet, S. Neo, Y. Y. & Slabbekoorn, H. 2016a. The impact of anthropogenic noise on aquatic animals: from single species to community level effects. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 857: 957-961. In: Popper AN, Hawkins AD (Eds.). *The effects of noise on aquatic life*, Budapest Conference Proceedings, Elsevier.
39. Shafiei Sabet, S. Wesdorp, K. Campbell, J. Snelderwaard, P. & Slabbekoorn, H. 2016b. Behavioural responses to sound in captivity by two fish species with different hearing ability. *Animal Behaviour* 116:1-11.
40. Shafiei Sabet, S. Van Dooren, D & Slabbekoorn, H. 2016c. Son et lumière: sound and light effects on spatial distribution and swimming behaviour in captive zebrafish. *Environmental Pollution*, 212: 480-488.
41. Slabbekoorn, H., Bouton, N., van Opzeeland, I., Coers, A., ten Cate, C., Popper, A.N., 2010. A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends Ecol. Evol.*
42. Slabbekoorn, H., Ripmeester, E.A.P., 2008. Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. *Mol. Ecol.*
43. Slotte, A., Hansen, K., Dalen, J., Ona, E., 2004. Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. *Fish. Res.* 67, 143–150.
44. Tavalga, W.N., 1964. Sonic characteristics and mechanisms in marine fishes, in: *Marine Bio-Acoustics*. pp. 195–211.
45. Ueng, J.P., Huang, B.Q., Mok, H.K., 2007. Sexual differences in the spawning sounds of the Japanese croaker *Argyrosomus japonicus* (sciaenidae). *Zool. Stud.* 46, 103–110.
46. Voellmy, I. K., Purser, J., Flynn, D., Kennedy, P., Simpson, S. D., & Radford, A. N. (2014). Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms. *Animal Behaviour*, 89, 191e198.
47. Wardle, C.S., Carter, T.J., Urquhart, G.G., Johnstone, a. D.F., Ziolkowski, a. M., Hampson, G., Mackie, D., 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. *Cont. Shelf Res.* 21, 1005–1027.
48. Webb J.F, Montgomery J.C, Mogdans J. 2008. Bioacoustics and the lateral line system in fishes. In *Fish Bioacoustics*. Edited by Webb JF, Popper AN, Fay RR. New York: Springer;:145-182.
49. Wysocki, L.E., Dittami, J.P., Ladich, F., 2006. Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. *Biol. Conserv.* 128, 501–508.
50. Wysocki, L.E., Ladich, F., 2005. Hearing in fishes under noise conditions. *JARO - J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 6, 28–36.

