

آلودگی‌های صوتی در آب‌های جنوبگان: مطالعات اخیر و اولویت‌های آینده

سعید شفیعی ثابت^{۱*}

چکیده

در کنار زیستگاه‌های خشکی، زیستگاه‌های آبی در بخش‌های مختلف کره زمین دارای اهمیت می‌باشند. بررسی و مشاهده گونه‌های جانوری در محیط‌های خشکی نسبت به محیط‌های آبی به مراتب آسان‌تر و قابل دسترس‌تر برای محققین و پژوهشگران می‌باشد. منطقه جنوبگان یکی از بخش‌های جغرافیایی می‌باشد که به لحاظ بعد مسافت و همچنین شرایط اقلیمی مطالعات محدودتری در خصوص گونه‌های جانوری و اثرات آلودگی‌های صوتی بر آنها صورت گرفته است. در اینجا، هدف ما بررسی اهمیت مطالعات زیستی-رفتاری مرتبط با زیست‌صوت و پتانسیل اثر آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر تنوع گونه‌ای منطقه جنوبگان می‌باشد. در ادامه با توجه به اهمیت تنوع زیستی گونه‌های جانوری، مرور منابع مطالعات اخیر بررسی اثر آلودگی صوتی در آب‌های جنوبگان انجام شد. پایش غیرفعال صوتی می‌تواند برای انجام مطالعات زیست‌شناسی رفتاری و شناسایی گونه‌های منحصربه‌فرد در این منطقه جغرافیایی جنوبگان استفاده شود. همچنین جهت برنامه‌ریزی و رسیدن به اهداف پژوهشی و توسعه همکاری‌های علمی پژوهشی مشترک با سایر مراکز تحقیقاتی بین‌المللی، راه‌اندازی و تجهیز ایستگاه مطالعاتی علوم زیست‌صوت و رفتارشناسی آبزیان ضروری است.

واژگان کلیدی: جنوبگان، زیست‌صوت، تغییرات اقلیمی، زیست‌شناسی رفتاری، زیستگاه‌های آبی

*عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن: ۴۴۳۲۳۵۹۹ (۰۱۳)، نمابر: ۴۴۳۲۳۶۰۰ (۰۱۳)، آدرس الکترونیکی s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir

^۱ گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

مقدمه: اهمیت منطقه جنوبگان

سایر کشورهای ذی‌نفع در این زمینه پیشرو بوده و در کنار بررسی حقوقی و قوانین بین‌المللی مرتبط به حضور در این منطقه جغرافیایی با اهمیت، اقدام به رایزنی‌هایی علمی در سطح دانشگاهی و ملی نموده و تشکیل اتاق فکر پژوهشی جنوبگان را جزو اولویت‌های مطالعات پژوهشی فرامنطقه‌ای قرار دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه جنوبگان شامل بخش سرزمینی، اقیانوس و دریاهای اطراف (۱).

آلودگی صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی در منطقه جنوبگان

اقیانوس‌ها و دریاها محیط‌های پرسروصدایی هستند. در دهه ۶۰ از زمانی که Jacques Cousteau صامت بودن محیط‌های اقیانوسی و دریایی را در مستندهای خود معرفی نمود [۱۲]، فعالیت‌های انسانی شامل کشتیرانی، استخراج معادن نفت و گاز در بستر دریاها، توسعه انرژی سبز و استحصال آن و فعالیت‌های صید و صیادی شیلاتی زندگی جانوران زیست‌مند در محیط‌های اقیانوسی و دریایی را به‌خطر انداخته‌اند [۱۰ و ۱۳-۱۶]. اگرچه جنوبگان منزوی‌ترین قاره کره زمین می‌باشد ولی از تأثیرات منفی فعالیت‌های انسانی در امان نمانده است [۱۷]. اکوسیستم‌های منحصربه‌فرد جنوبگان و گونه‌های جانوری بومی آن در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای توسط برداشت و استحصال بیش‌ازحد آبیان، انواع آلودگی‌ها و معرفی گونه‌های بیگانه تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۱۷]. تغییرات اقلیمی آب‌وهوایی

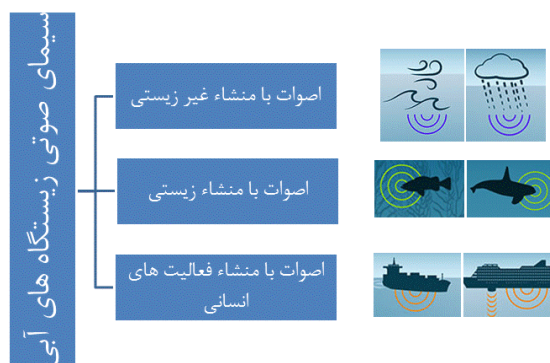
منطقه قطب جنوب، پنجمین قاره روی کره زمین از جنبه‌های گوناگون سیاسی، اقتصادی و علمی دارای اهمیت راهبردی می‌باشد که اخیراً بیشتر مورد توجه بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است [۱]. مساحت کل این قاره با احتساب جزائر و فلات‌های یخی (شکل ۱) در حدود ۱۴ میلیون کیلومتر مربع می‌باشد (۱). قاره قطب جنوب تنها قاره‌ای در کره زمین است که تاریخچه بلندمدتی در زمینه زندگی انسان‌ها از آن موجود نمی‌باشد [۲]. برخلاف تصور عمومی از این قاره (از اینجا و در ادامه این مقاله جنوبگان نام برده می‌شود) که به‌عنوان بخشی از کره زمین به‌صورت کاملاً یخ‌زده، برفی و فاقد سکنه شناخته شده، دارای تنوع زیستی منحصربه‌فردی است. علاوه بر تنوع و غنای گونه‌ای در بخش یخی و سرزمینی جنوبگان [۲]، زیست‌بوم دریایی جنوبگان نیز شامل گونه‌های سخت‌پوستان، ماهی‌ها و پستانداران دریایی می‌باشد. این درحالی است که زیست‌شناسان در بخش سرزمینی جنوبگان سه منطقه جغرافیایی زیستی را تشخیص داده و شناسایی کردند [۳-۵]. تنها ۰/۳۴ درصد از کل مساحت جنوبگان بدون پوشش یخی می‌باشد [۶] که بخش کوچکی از آن در مناطق ساحلی یافت می‌شود و در آن اکوسیستم‌های زمینی به بهترین شکل توسعه یافته‌اند [۷]. گزارشاتی مبنی بر صید بی‌رویه ذخایر زیستی آبیان و به‌طور ویژه پستانداران دریایی توسط برخی از کشورها به ثبت رسیده است که هم‌راستا با استفاده عادلانه عمومی کشورها از منابع طبیعی و ذخایر آن و همچنین حفاظت پایدار از این منطقه با اهمیت نمی‌باشد [۸]. برای مثال اگر چه مطالعات نشان داده است که جمعیت نهنگ گوژپشت در این منطقه در حال بازسازی و احیا می‌باشد اما اطلاعات در مورد نحوه و روند احیا سایر گونه‌های آبیان نامشخص است [۹]. از طرفی کشتیرانی و انجام فعالیت‌های صید و صیادی تجاری خود می‌تواند بر برهمکنش‌های متقابل گونه‌های آبیان شامل ماهی‌ها و پستانداران دریایی و بقاء آنها در این منطقه نیز تأثیرگذار باشد [۱۰]. در معاهده جنوبگان توافق حاصل شد تا جنوبگان به منطقه‌ای برای اهداف و فعالیت‌های صلح‌آمیز و تحقیقات علمی اختصاص پیدا کند و به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده علمی معرفی گردد که در آن آزادی تحقیقات علمی برای عموم ملیت‌ها وجود داشته باشد. بر این اساس هر کشوری در هر منطقه از این قاره می‌تواند ایستگاه تحقیقاتی دایر کند [۱۱]. این فرصت مناسبی است تا کشور ایران نیز بتواند در کنار

استرسورهای نام برده شده می‌توانند بازخوردهای مخرب و شدیدی در نتیجه تأثیر بر زنجیره‌ها و شبکه‌های غذایی برای سلامت و تنوع زیستی در اکوسیستم‌های آبی ایجاد نمایند [۲۳-۲۴]. استفاده از روش‌های دیداری و ثبت تصاویر به‌همراه فیلمبرداری می‌تواند در بررسی وضعیت حضور و پراکنش و مطالعه رفتارهای گونه‌های جانوری بزرگتر راه‌گشا باشد. البته این روش محدودیت‌هایی نیز دارد که به کمک صدابرداری غیرفعال آکوستیک قابل‌پوشش می‌باشد. با داده‌برداری‌های صوتی می‌توان تا حدود بسیار بیشتری به اطلاعات گونه‌های جانوری زیستمنند که توانایی تولید صوت را دارند در محیط‌های زیر آب و به‌طور ویژه منطقه جنوبگان رسید. مطالعات گذشته نشان داده است که این روش برای بررسی وضعیت پراکنش، مهاجرت، رفتارهای اجتماعی و شکارگری پستانداران دریایی مستقر در جنوبگان مؤثر می‌باشد [۲۵-۲۷]. البته سایر روش‌های نمونه‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات برای گونه‌های آبزیانی که از داده‌های صوتی به نسبت کمتری برای درک محیط اطراف و برقراری ارتباط با هم‌نوعان خود استفاده می‌کنند نیز ضروری می‌باشد.

اثر آلودگی‌های صوتی بر گونه‌های جانوری: مطالعات انجام شده در جنوبگان

استرسورهای محیطی می‌توانند بر زیستگاه‌های اقیانوسی و دریایی تأثیر منفی داشته باشند که در کوتاه‌مدت و یا بلندمدت آثار آن قابل مشاهده خواهد بود. برای مثال اثر اصوات ناشی از فعالیت‌های انسانی به‌عنوان یک عامل استرس‌زا در منطقه می‌تواند بر پراکنش زمانی و مکانی گونه‌های آبزیان شامل ماهی‌ها که جزو جیره غذایی پستانداران دریایی محسوب می‌شوند تأثیر بگذارد. پاسخ گونه‌های جانوری زیستگاه‌ها به این دسته از آلودگی‌های استرس‌زا ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌تواند با توجه به مقاومت گونه‌های جانوری در زیستگاه موردنظر و تأثیرپذیری آنها در برابر این تغییرات متفاوت باشد [۱۴]. در منطقه جنوبگان، پایش غیرفعال صوتی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای بررسی پراکنش زمانی و مکانی گونه‌های آبزیان که توانایی تولید صوت دارند و از اصوات در فعالیت‌های زیستی خود استفاده می‌کنند، در نظر گرفته شود [۱۸]. بنابراین استفاده از پایش غیرفعال صوتی می‌تواند در تعیین نقش

جهانی نیز تأثیرات منفی بر این منطقه داشته به‌طوری‌که افزایش دمای دریاها و اسیدی شدن اقیانوس‌ها شبکه‌های غذایی اعماق دریایی‌ها و مناطق پلاژیک کم‌عمق را نیز تهدید می‌کند. افزایش شدت فشار صید و صیادی آبزیان شامل بی‌مهرگان، انواع ماهی‌ها و پستانداران دریایی، فعالیت‌های توریستی و بازدید از جاذبه‌های گردشگری جنوبگان، و فعالیت‌های کشتیرانی همگی می‌تواند بر روند افزایش تغییرات منفی و تخریب زیستگاه‌ها و شبکه‌های غذایی جنوبگان موثر باشد. یکی از منابع آلوده‌کننده ناشی از فعالیت‌های انسانی در منطقه جنوبگان آلودگی صوتی می‌باشد که می‌تواند بر زیستگاه‌های آبی و گونه‌های جانوری زیستمنند در این منطقه اثرات منفی داشته باشد [۱۸-۱۹]. به تمامی اصوات با منشأ متفاوت که در یک زیستگاه آبی در مکان و زمان مشخص موجود می‌باشد سیمای صوتی^۱ گفته می‌شود [۲۰-۲۱]. سیمای صوتی به‌طور کلی از سه بخش تشکیل شده است که شامل اصوات با منشأ غیرزیستی، زیستی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد (شکل ۲).



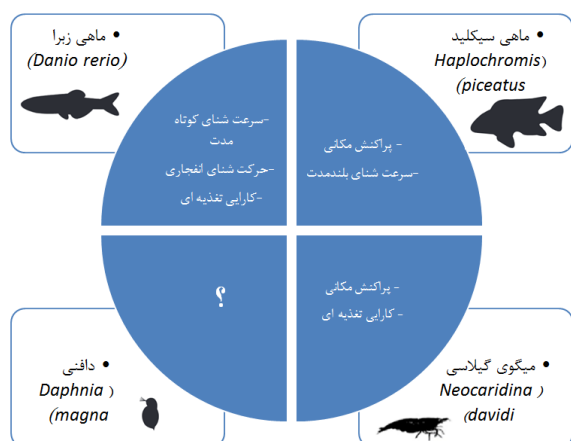
شکل ۲. نمایی از دسته‌بندی سیمای صوتی زیستگاه‌های آبی که شامل اصوات با منشأ غیرزیستی، زیستی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. بخش آیکون‌های شماتیک اقتباس شده از سازمان ملی اقیانوسی و جوی، ایالات متحده آمریکا.

نقش داده‌پردازی‌های صوتی در بررسی گونه‌های جانوری

در قلمروهای دریایی-اقیانوسی، اکوسیستم‌ها فشارهای انسانی زیادی را تجربه می‌کنند که شامل تمامی انواع آلودگی‌ها ناشی از فعالیت‌های انسانی: شیمیایی، نوری، دمایی، و صوتی می‌باشد. از پیامدهای قابل مشاهده، اسیدی شدن آب دریاها و اقیانوس‌ها، ذوب شدن یخ‌ها، گسترش زباله‌های دریایی، افزایش سطوح آلودگی‌های صوتی و همچنین فشار صیادی را می‌توان نام برد [۲۲]. تمامی این

¹ Soundscape

گونه از ماهیان آب شیرین-ماهی زبرا (*Danio rerio*) و توانایی شکارگری آن بر یک گونه سخت پوست آب شیرین-دافنی (*Daphnia magna*) تأثیر منفی داشته باشد: به طوری که در مقایسه با تیمار شاهد، تیمارهای صوتی به صورت متفاوت و کاملاً وابسته به الگوهای زمانی بر تعداد دفعات حرکت شنای انفجاری^۱ و سرعت شنای^۲ ماهی زبرا تأثیر گذاشت (افزایش تعداد دفعات حرکت شنای انفجاری و افزایش سرعت شناگری) (رجوع شود به شکل ۳). همچنین تمامی تیمارهای صوتی با الگوهای زمانی متفاوت بر کارایی تغذیه‌ای ماهی زبرا به عنوان گونه شکارگر بر دافنی آب شیرین به عنوان شکار تأثیرگذار بودند [۴۰] که با الگوهای رفتاری مشاهده شده در مطالعات قبلی بر همان گونه [۴۱] مشابه بوده است.



شکل ۳. نمایی از تغییرات مشاهده شده رفتاری در مطالعات آزمایشگاهی اثر صوت بر آبزیان (مهره داران و بی‌مهرگان) که در شرایط آزمایشگاهی و توسط نویسنده مقاله در ایران صورت گرفته است. پخش صوت در گونه‌های ماهی زبرا، سیکلید و میگوی گیلاسی منجر به ایجاد تغییرات رفتاری مختلف گردید. تاکنون تغییرات رفتاری مرتبط با صوت در دافنی دیده نشده است که البته با توجه به مکانیسم‌های متفاوت دریافت صوت در این گونه و سایر بی‌مهرگان مطالعات بیشتری نیاز می‌باشد.

در مطالعه‌های دیگر، به بررسی اثر صوت بر رفتار حرکتی و کارایی تغذیه‌ای یک گونه از بی‌مهرگان- سخت‌پوستان میگوی گیلاسی (*Neocaridina davidi*) پرداخته شده است [۴۲]. در این مطالعه نشان داده شده است که افزایش شدت صوت می‌تواند بر کارایی تغذیه‌ای و همچنین امکان دسترسی به غذا اثر منفی داشته باشد

منابع صوتی موجود در یک منطقه و دسته‌بندی تکمیلی آنها در بخش صوت زمینه منطقه هم کاربرد داشته باشد. مطالعاتی درخصوص بررسی اثر آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در منطقه جنوبگان صورت گرفته است. از جمله پژوهش‌های قبلی بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در منطقه جنوبگان به ثبت رسیده است [۲۸-۳۰]. ولی مشاهدات و مستندات محدودی درخصوص بررسی و ارزیابی سیمای صوتی و پراکنش فرکانس‌های صوتی و شدت صوت در منطقه جنوبگان موجود است [۳۱-۳۴] و بیشتر متمرکز بر مطالعات زیست‌صوت بر پستانداران دریایی می‌باشد. پایش بلندمدت منطقه حفاظت‌شده در Ross Sea جهت بررسی نحوه اثر تغییرات اقلیمی بر سیمای صوتی منطقه مورد مطالعه موفق بوده است [۳۵]. در مطالعه‌ای با بررسی سیمای صوتی در قسمت‌های استوایی و مناطق قطب شمال و جنوبگان نشان داد منابع صوتی در فرکانس‌های پایین و صوت زمینه با دامنه متغیر در مقدار شدت و فرکانس می‌باشد که بخشی از این اصوات مربوط به پستانداران دریایی بوده است [۱۹]. این درحالی است که برای درک بهتر و کامل‌تر اثرات آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی بر یک زیستگاه و اکوسیستم‌های آبی نیاز به اطلاعات و پژوهش‌های متمرکز بر گونه‌های جانوری در کل زنجیره غذایی و سطوح مختلف شبکه‌های غذایی ضروری است [۳۶-۳۹].

مطالعات انجام شده اثر آلودگی صوتی بر آبزیان در ایران

مطالعات رفتارشناسی آبزیان هم در محیط‌های خشکی و هم در محیط‌های آبی می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت کنونی زیستگاه‌ها و اثرات آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی بر فعالیت‌های زیستی و ارتباط‌های بین گونه‌ایشان فراهم نمایند. این اطلاعات و داده‌ها برای حفاظت از گونه‌های در معرض خطر انقراض و همچنین برای افزایش سطح رفاه زیستی آنها قابل استفاده و کاربردی می‌باشد. با توجه به مرور منابع فارسی در دسترس، تعدادی بسیار محدود از پژوهش‌ها در ایران به بررسی اثر آلودگی‌های صوتی و پاسخ‌های رفتاری آبزیان شامل ماهیان آب شیرین و بی‌مهرگان پرداخته‌اند که در ادامه آمده است. در پژوهشی بررسی اثر آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی نشان داده شده است که این اصوات می‌تواند بر رفتار شناگری و تغذیه‌ای یک

1 Startle response
2 Swimming speed

تعداد گونه‌های در معرض انقراض در محیط‌های اقیانوسی و دریایی در حال افزایش است. بنابراین دانستن خطراتی که می‌تواند در افزایش احتمال انقراض گونه‌های جانوری نقش داشته باشند برای حفاظت از گونه‌ها بسیار ضروری و لازم می‌باشد [۱۵]. عامل اصلی کاهش تنوع گونه‌ای در محیط‌های دریایی صید بی‌رویه معرفی شده است که خود می‌تواند بر شبکه‌های غذایی به صورت پلکانی تأثیرگذار باشد [۴۹]. در کنار صید بی‌رویه و صید ضمنی که برای بسیاری از گونه‌های حساس تجاری دریایی مخاطراتی ایجاد کرده است، از دست دادن زیستگاه‌ها در نتیجه تخریب و تغییر کاربری نیز در مرحله بعدی از خطرات تهدید کننده گونه‌های جانوری آبی محسوب می‌شود. با ارزیابی اثرات نسبی خطرات عمده و متعدد که زیستگاه‌ها و در نتیجه گونه‌های جانوری آبی را تهدید می‌کنند و مفهوم‌سازی نقش‌های بوم‌شناسی گونه‌های آبیان می‌توان اولویت‌های حفاظت از ذخایر آبیان را توسعه بخشید [۱۵]. در این راستا، انجام مطالعات رفتارشناسی و پاسخ گونه‌های آبیان به تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی هم در سطوح سیستماتیک و شبکه‌های غذایی و هم با توجه به زیستگاه گونه‌ها شامل دریایی، مصبی و مهاجر بین منطقه‌ای نیاز به توجه و ارزیابی دارد.

همچنین جهت بررسی اثر آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسانی، همکاری مشترک علمی-منطقه‌ای پیوسته و مشارکت متخصصین علوم بین‌رشته‌ای پیش‌نیاز می‌باشد. یکی از خروجی‌های علمی همکاری مشترک بین‌المللی که قابل به روزرسانی و پایش پیوسته می‌باشد، تهیه و تدوین پایگاه داده‌های مربوط به سیمای صوتی منطقه جنوبگان قابل دسترس آزاد برای عموم محققین و پژوهشگران است که برای مثال در سال‌های قبل [۵۰] برای اصوات گونه‌هایی از جانوران دریایی انجام شده است [۵۱].

نتیجه‌گیری

فعالیت‌های کشتیرانی و فعالیت‌های انسانی می‌تواند منجر به افزایش سطوح صوت زمینه در منطقه جنوبگان گردد که البته اطلاعاتی در این مورد به صورت تکمیلی موجود نمی‌باشد. معاهده جنوبگان ۱۹۵۹ توسط کشورهای متعهد وقت به صورت مشترک پذیرفته شد. با توجه به دو هدف اصلی در این معاهده، شرایط برای حضور در منطقه جنوبگان شامل مقاصد صلح‌آمیز و آزادی در تحقیقات و پژوهش‌های علمی است که فرصتی مناسب برای پیگیری و شروع فعالیت‌های مراکز پژوهشی ایران به صورت همکاری مشترک را

(مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا میگو غذا را پیدا کند و همچنین تعداد دفعات بازگشت مجدد به محل حضور غذا کاهش پیدا کرد (برای اطلاعات بیشتر از سایر نتایج و تفسیر پاسخ‌های رفتاری مشاهده شده به [۴۲ و ۴۳] مراجعه گردد). اگرچه لازم به ذکر می‌باشد که مکانیسم‌های دریافت صوت و محتوای صوتی دریافت شده (فشار صوت، حرکت ذرات و یا لرزش) توسط گونه‌های جانوری متنوع در برخی موارد اختصاصی می‌باشد که در تفسیر نتایج مشاهده شده در مطالعات باید در نظر گرفته شود.

منابع آلودگی صوتی در حال گسترش تصاعدی در زیستگاه‌های آبی شامل هم آب‌های منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای می‌باشد، ولی اطلاعات ما در مورد پتانسیل اثر آلودگی صوتی بر گونه‌های زیستمند در سطوح مختلف انفرادی، جمعیتی، اجتماعات و اکوسیستم‌ها بسیار محدود است [۳۷ و ۴۴]. البته مطالعات میدانی در زمینه سیمای صوتی در مناطق آب‌های شیرین داخلی و آب‌های خزر در شمال ایران و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران همچنان دور از دسترس باقی مانده است [۴۵-۴۷]. با توجه به ناشناخته بودن و اطلاعات علمی محدود در خصوص سیمای صوتی منطقه جنوبگان و منابع آب‌های دریایی ایران و پتانسیل اثر آلودگی‌های صوتی ناشی از فعالیت‌های انسان، بررسی و مرور پژوهش‌های مرتبط با علوم زیست‌صوت و بوم‌صوت انجام شده در جنوبگان می‌تواند الگوی متناسب شیوه‌شناسی تخصصی را در اختیار پژوهشگران علاقمند در این زمینه تخصصی قرار دهد.

نقش مطالعات رفتار آبیان بر محیط‌زیست جنوبگان و توسعه پایدار

پروتکل حفاظت از محیط‌زیست پیمان جنوبگان تصریح می‌کند که حفاظت از محیط‌زیست جنوبگان و اکوسیستم‌های مرتبط اساساً در برنامه‌ریزی و اجرای کلیه فعالیت‌ها در منطقه جنوبگان در نظر گرفته شود. لذا حضور گروه‌های تحقیقاتی و علمی و تأسیس و استقرار در ایستگاه‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی و ارزشمندی در مورد اهمیت وضعیت آب‌وهوایی و تغییرات اقلیمی، استراتژیکی و اقتصادی به‌همراه داشته باشد. از طرفی جنوبگان می‌تواند به‌عنوان میراث مشترک بشریت برای انجام تحقیق و پژوهش جهت ارتقا سطح رفاه گونه‌های جانوری و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، برای جوامع علمی همه کشورهای دنیا به‌عنوان فرصتی مناسب و استثنایی در نظر گرفته شود.

- [3]. Convey, P. (2007). Antarctic Ecosystems. In: Levin, S.A. (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity*, second Ed.). Elsevier, San Diego. doi:10.1016/B0-12-226865-2/00014-6.
- [4]. Longton, R. E. (1988). *Biology of polar bryophytes and lichens*. CUP Archive.
- [5]. Smith, R. L. (1984). *Terrestrial biology of the Antarctic and sub-Antarctic*. Antarctic ecology. Academic Press, London, 61-162.
- [6]. British Antarctic Survey, 2004. *Antarctica 1:10 000 000 Map*. BAS (misc) 11. British Antarctic Survey, Cambridge.
- [7]. Convey, P., Bindschadler, R., Di Prisco, G., Fahrbach, E., Gutt, J., Hodgson, D. A., & Ace Consortium. (2009). Antarctic climate change and the environment. *Antarctic Science*, 21(6), 541-563.
- [8]. Simmonds, M. P., & Elliott, W. J. (2009). Climate change and cetaceans: concerns and recent developments. *Journal of the Marine biological Association of the United Kingdom*, 89(1), 203-210.
- [9]. Ainley, D., Russell, J., Jenouvrier, S., Woehler, E., Lyver, P. O. B., Fraser, W. R., & Kooyman, G. L. (2010). Antarctic penguin response to habitat change as Earth's troposphere reaches 2 C above preindustrial levels. *Ecological Monographs*, 80(1), 49-66.
- [10]. Read, A. J. (2008). The looming crisis: interactions between marine mammals and fisheries. *Journal of Mammalogy*, 89(3), 541-548.
- [۱۱]. مدنی، سید ضیاء‌الدین. (۱۳۹۸) جنوبگان و مقوله امنیت در نظم حقوقی بین‌المللی هزاره سوم: الگوی برتر حقوق بین‌الملل در پایبندی به تعهدات و ایجاد ضمانت‌های اجرایی مؤثر. مجله حقوق بین‌المللی. شماره ۶۰. بهار-تابستان. صفحات ۱۶۰-۱۳۵.
- [12]. Cousteau, J-Y., 1956. *Le monde du silence*.
- [13]. Davidson, A. D., Boyer, A. G., Kim, H., Pompa-Mansilla, S., Hamilton, M. J., Costa, D. P., & Brown, J. H. (2012). Drivers and hotspots of extinction risk in marine mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3395-3400.
- [14]. Halpern, B. S., Selkoe, K. A., Micheli, F., & Kappel, C. V. (2007). Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation biology*, 21(5), 1301-1315.
- [15]. Kappel, C. V. (2005). Losing pieces of the puzzle: threats to marine, estuarine, and diadromous species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(5), 275-282.
- [16]. Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., & Kraus, S. D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1737), 2363-2368.
- [17]. Aronson, R. B., Thatje, S., McClintock, J. B., & Hughes, K. A. (2011). Anthropogenic impacts on

فراهم می‌آورد. پایش غیرفعال صوتی در این منطقه اولاً اطلاعات پایه‌ای از اکوسیستم و گونه‌های جانوری (پراکنش زمانی و مکانی) دارای توانایی تولید صوت در دسترس قرار می‌دهد. ثانیاً تا حدود زیادی می‌توان به ارتباطات و پیوستگی‌های اکولوژیکی بین گونه‌های جانوری و همچنین پتانسیل اثر آلودگی صوتی پی برد. قطعاً پیشنهاد طرح راه‌اندازی ایستگاه مطالعاتی علوم زیستی و پایش غیرفعال صوتی در منطقه جنوبگان نیازمند دریافت بازخورد و نظرات سازنده سایر محققین رشته‌های مرتبط با علوم زمین‌شناسی، محیط‌زیست، فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی و همچنین سایر علوم به صورت بین‌رشته‌ای می‌باشد. این درحالی است که نویسنده مقاله حاضر پیشنهاد الگو برداری از شیوه‌شناسی و روش کار مطالعات مرتبط با سیمای صوتی و ارزیابی اثرات آلودگی‌های صوتی را برای به‌کارگیری و بررسی منابع آبی دریایی ایران نیز پیشنهاد می‌دهد. در پایان تشکیل کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی و طرح مسئله بررسی امکان پژوهش‌های کاربردی و صلح‌دوستانه در منطقه جنوبگان و تشکیل هسته پژوهشی علوم جنوبگان پیشنهاد می‌گردد. در این صورت با همفکری و رایزنی‌های علمی و همچنین مشاوره در بخش قانون‌گذاری ملی و بین‌المللی و بخش‌های اجرایی، زمینه تصمیم‌هایی توسعه‌یافته و چندجانبه بین‌رشته‌ای برای شروع و ادامه فعالیت‌های بخش پژوهشی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت ایران به صورت مستقل و یا مشترک با سایر کشورهای پیشرو فراهم می‌گردد.

تقدیر و تشکر

از داوران محترم که با نظرات و پیشنهادهای سازنده خود در توسعه و تکمیل بخش‌های این مقاله همکاری داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

سایت‌های بازدید شده

- (1) <https://www.sitesatlas.com/country/Antarctica/>

منابع و مآخذ

- [۱]. فرجامی، ف. اسماعیلی، م. (۱۴۰۱). بی‌هنجاری میدان باد و کم‌فشارهای قطبی در جنوبگان. اقیانوس‌شناسی، جلد: ۱۳، شماره ۵۲، فصل زمستان. صفحات ۷۵-۶۴.
- [2]. Convey, P. (2010). Terrestrial biodiversity in Antarctica—Recent advances and future challenges. *Polar Science*, 4(2), 135-147.

- [28]. Waller, C.L., Griffiths, H.J., Waluda, C.M., Thorpe, S.E., Loaiza, I., Moreno, B., Pacherres, C.O. and Hughes, K.A., (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research. *Science of the total environment*, 598, pp.220-227.
- [29]. Reed, S., Clark, M., Thompson, R., & Hughes, K. A. (2018). Microplastics in marine sediments near Rothera research station, Antarctica. *Marine pollution bulletin*, 133, 460-463.
- [30]. Fragão, J., Bessa, F., Otero, V., Barbosa, A., Sobral, P., Waluda, C. M., ... & Xavier, J. C. (2021). Microplastics and other anthropogenic particles in Antarctica: Using penguins as biological samplers. *Science of The Total Environment*, 788, 147698.
- [31]. Philpott, C. (2016). Sonic Explorations of the Southernmost Continent: Four composers' responses to Antarctica and climate change in the twenty-first century. *Organised Sound*, 21(1), 83-93.
- [32]. Philpott, C. (2019). Listening 'at the sea ice edge': Compositions based on soundscape recordings made in Antarctica. In *Anthropocene Antarctica* (pp. 101-116). Routledge.
- [33]. Erbe, C., Dunlop, R., Jenner, K.C.S., Jenner, M.N.M., McCauley, R.D., Parnum, I., Parsons, M., Rogers, T. and Salgado-Kent, C., 2017. Review of underwater and in-air sounds emitted by Australian and Antarctic marine mammals. *Acoust Aust* 45: 179–241.
- [34]. Filún, D., & van Opzeeland, I. (2023). Spatial and temporal variability of the acoustic repertoire of Antarctic minke whales (*Balaenoptera bonaerensis*) in the Weddell Sea. *Scientific Reports*, 13(1), 11861.
- [35]. Giorli, G., & Pinkerton, M. H. (2019, July). Long-term soundscape monitoring in the Ross Sea and its marine protected area. In *Proceedings of Meetings on Acoustics* (Vol. 37, No. 1). AIP Publishing.
- [36]. 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 in ecology & evolution*, 25(7), 419-427.
- [37]. Shafiei Sabet, S., Neo, Y. Y., & Slabbekoorn, H. (2016). 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.
- [38]. Shafiei Sabet, S. (2020). *The Effects of Anthropogenic Noise on Aquatic Animals: With an Emphasis on Foraging Behaviour*.
- [39]. Shafiei Sabet, S. (2018). Effects of sound pollution on predatory behaviour strategies in aquatic animals. *Veterinary Research & Biological Products*, 31(2), 25-33.
- [40]. Mohsenpour, S. R., & Shafiei Sabet, S. (2021). The effect of increased sound levels with different marine ecosystems in Antarctica. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 82-107.
- [18]. Erbe, C., Dähne, M., Gordon, J., Herata, H., Houser, D. S., Koschinski, S., & Janik, V. M. (2019). Managing the effects of noise from ship traffic, seismic surveying and construction on marine mammals in Antarctica. *Frontiers in Marine Science*, 6, 647.
- [19]. Haver, S. M., Klinck, H., Nieukirk, S. L., Matsumoto, H., Dziak, R. P., & Miksis-Olds, J. L. (2017). The not-so-silent world: Measuring Arctic, Equatorial, and Antarctic soundscapes in the Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 122, 95-104.
- [20]. Erbe, C. (2010). The marine soundscape and the effects of noise on aquatic mammals. *Canadian Acoustics*, 38(3), 20-21.
- [21]. Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216.
- [22]. Halpern, B.S., Frazier, M., Potapenko, J., Casey, K.S., Koenig, K., Longo, C., Lowndes, J.S., Rockwood, R.C., Selig, E.R., Selkoe, K.A. and Walbridge, S., (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature communications*, 6(1), pp.1-7.
- [23]. Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R. and Sala, E., 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314(5800), pp.787-790.
- [24]. Hillebrand, H., Brey, T., Gutt, J., Hagen, W., Metfies, K., Meyer, B., & Lewandowska, A. (2018). Climate change: warming impacts on marine biodiversity. *Handbook on marine environment protection: science, impacts and sustainable management*, 353-373.
- [25]. Risch, D., Gales, N.J., Gedamke, J., Kindermann, L., Nowacek, D.P., Read, A.J., Siebert, U., Van Opzeeland, I.C., Van Parijs, S.M. and Friedlaender, A.S., (2014). Mysterious bio-duck sound attributed to the Antarctic minke whale (*Balaenoptera bonaerensis*). *Biology letters*, 10(4), p.20140175.
- [26]. Shabangu, F. W., Andrew, R. K., Yemane, D., & Findlay, K. P. (2020). Acoustic seasonality, behaviour and detection ranges of Antarctic blue and fin whales under different sea ice conditions off Antarctica. *Endangered Species Research*, 43, 21-37.
- [27]. Van Opzeeland, I., Van Parijs, S., Bornemann, H., Frickenhaus, S., Kindermann, L., Klinck, H., & Boebel, O. (2010). Acoustic ecology of Antarctic pinnipeds. *Marine Ecology Progress Series*, 414, 267-291.

- [45]. Shafiei Sabet, S. (2018). The impacts of anthropogenic sound on marine mammals in the Persian Gulf; current status and need for future research. *Journal of the Persian Gulf*, 9(32), 1-10.
- [46]. Shafiei, S. (2021). The Caspian Sea and anthropogenic sound: a need for underwater sound assessment. In *Каспий: прошлое, будущее, настоящее* (pp. 71-74).
- [47]. Shafiei Sabet, S. (2022). Anthropogenic sound as an emerging threat in the Caspian Sea: The potential effects of sound on aquatic animals. *Environmental Resources Research*, 10(1), 105-114.
- [49]. Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., & Torres Jr, F. (1998). Fishing down marine food webs. *Science*, 279(5352), 860-863.
- [50]. Watkins, W. A., Fristrup, K., Daher, M. A., & Howald, T. (1992). SOUND database of marine animal vocalizations. Technical Report 92-31, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA.
- [51]. Sayigh, L., Daher, M. A., Allen, J., Gordon, H., Joyce, K., Stuhlmann, C., & Tyack, P. (2016, July). The Watkins marine mammal sound database: an online, freely accessible resource. In *Proceedings of Meetings on Acoustics* (Vol. 27, No. 1). AIP Publishing.
- temporal patterns on swimming behaviour of Zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of Natural Environment*, 73(4), 805-818.
- [41]. 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.
- [42]. Azarm-Karnagh, S., López Greco, L., & Shafiei Sabet, S. (2023). Annoying noise: effect of anthropogenic underwater noise on the movement and feeding performance in the red cherry shrimp, *Neocaridina davidi*. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1091314.
- [43]. Azarm-Karnagh, S., López Greco, L., & Shafiei Sabet, S. (2023). Anthropogenic noise impacts on invertebrates: case of freshwater red cherry shrimp (*Neocaridina davidi*). In *The Effects of Noise on Aquatic Life: Principles and Practical Considerations* (pp. 1-12). Cham: Springer International Publishing.
- [44]. Kok, A., Berkhout, B.W., Carlson, N.V., Evans, N.P., Khan, N., Potvin, D.A., Radford, A.N., Sebire, M., Shafiei Sabet, S., Shannon, G. and Wascher, C.A., (2023). How chronic anthropogenic noise can affect wildlife communities. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, p.1130075.

Anthropogenic Noise in Antarctic Waters: Recent Studies and Future Priorities

Saeed Shafiei Sabet^{*,1}

Alongside terrestrial habitats, aquatic habitats are of great importance in various parts of the Earth. Studying and monitoring animals in terrestrial environments is easier and more accessible for researchers than aquatic environments. The Antarctic is a geographical area where studies on the effects of sound pollution on animal species are limited due to isolated areas, distance of habitat range and climatic conditions. Here, I aim to provide an overview of the importance of biological studies, behavioral aspects related to bioacoustics, and the potential impact of sound pollution resulting from human activities, also known as “anthropogenic sound”, on the species diversity in the southern region of Antarctica. Considering the importance of the biodiversity of animal species, conducting behavioral studies for unique species in this geographical area is recommended. Passive acoustic monitoring can be used to conduct behavioral biology studies and identify unique species in Antarctic ecosystems. Furthermore, I suggest that it is essential to establish, develop and equip research stations for bioacoustics and behavioral studies of aquatic organisms in the Antarctic region to develop scientific collaborations with scientists from various international institutes.

Keywords: Antarctica, Bioacoustics, Climate Change, Behavioral Biology, Aquatic Habitats

* Corresponding Author, Assistant Professor, Tel: (+98)9111447909, Fax: 013-44323600, E-mail: s.shafiei.sabet@guilan.ac.ir

¹ Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran