Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز تحقیقات و اطلاعات علمی ایران

www.SID.ir

آلودگی صوتی محیط زیست دریایی; معضلی جدید ناشی از صدای کشتی‌ها

رویا امام، ابراهیم نادری، آرش جهانبازی

چکیده

اگرچه بهبود صنایع دریایی باعث ارتقا و پیشرفت جهان و تکنولوژی شده اما نمی توان انکار کرد که همزمان با آن طبیعت باید بهای آن‌را بپردازد. تعداد روزافزون کشتی‌های بزرگ خصوصا تجاری، باعث افزایش سر و صدا در دریا و بالطبع افزایش تبعات منفی برای محیط زیست دریا می‌شود. از عمده‌ترین عوامل ایجاد صدا می‌توان به صدای پروانه یا کاویتاسیون (تشکیل حباب‌های خلاء ناشی از شروع چرخش پروانه کشتی)، صدای ماشین آلات و در نهایت صدای حرکت بدنه کشتی در آب اشاره کرد. راهکارهای مختلفی برای کاهش صدا وجود دارد مانند ۱- بازنگری الزامات ملی- بین المللی در مناطق حساس و به ویژه حساس دریایی، ۲- اصلاح طراحی پروانه کشتی با قابلیت کاهش سرو صدا و افزایش بازدهی سیستم رانش شناور و سایر مواردی که ذکر خواهد شد [۳و ۸] .

واژه های کلیدی: آلودگی صوتی، صدای کشتی‌ها، صدای زیر آب

۱- مقدمه

موضوع تاثیر صوت ناشی از فعالیت‌های انسانی بر روی محیط زیست دریایی و جانوران آبزی، یکی از مسایل مورد توجه محققان در دو دهه اخیر شده است. محیط زیست دریایی میزبان طیف گسترده ای از صدا (ناشی از برخورد امواج، باد، فعالیتهای زیستی و ..) است که می‌تواند ارتباط صوتی و سایر عملکرد جانوران دریایی را مختل کند. با این حال فرض بر اینست که این مخلوقات در طی میلیون‌ها سال حیاتشان توانسته اند به کمک تکامل با این عوامل محیطی

Archive of SID

www.SID.ir

سازگار شوند. صدا[۱۲۶] (صوت) واژه ای است که به صورت تاثیر ارتعاش یک جسم بر محیط اطراف خود و به صورت تخصصی به عنوان یک موج مکانیکی منتشر شده در یک ماده واسطه کشسان تعریف می گردد. صدا در کل به انرژی صوتی اطلاق شده که از دیدگاه شنونده به دو گروه تقسیم می شود:

۱- سیگنال[۱۲۷] که صداهای حاوی اطلاعات معنی داری زیستی و یا غیرزیستی همچون یافتن طعمه، مکان خاص، غذا، برقراری ارتباط، شکار و.... است. برای آبزیان و سیستم شنوایی انسان، در زیر آب، سیگنال در قیاس با طیف گسترده صداهای خارجی ناشی از منابع طبیعی یا انسانی بسیار ناچیز است.

۲- سروصدا[۱۲۸] (صدای آزار دهنده) در مقابل به صداهای ناشی از منابع مختلف و فاقد اطلاعات زیستی اطلاق می گردد. تقریبا تمامی صداهای تولید شونده از منابع طبیعی و انسانی در زیرآب برای جانوران دریایی، صدایی آزار دهنده محسوب شده و می تواند صدایی ناچیز و مبهم در پس زمینه باشد و یا در عمل بتواند ارتباط را مختل نماید و یا حتی اثرات نامطلوب دیگری را به همراه داشته باشد.

به استثنای مواردی که صدا به معنای نزدیک شدن شناور و اعلام نیاز به دور شدن از مسیر حرکت آن باشد، از اصطلاح «صدای کشتی‌ها» به معنای سر و صدا و یا آلودگی صوتی ناشی از کشتی‌ها استفاده می شود. در این میان، صدای محیطی[۱۲۹] (صدای پس زمینه) به عنوان سر و صدایی ناشی از منابع نامشخص متعدد و به صورت همهمه ای محو تعریف میشود. صدای کشتی‌ها به این مجموع صدای محیطی، خصوصا در نواحی پرتردد می افزاید با این حال میزان دقیق آن هنوز مشخص نیست. محیط زیست دریایی، میزبان طیف گسترده ای از منابع صدا ناشی از برخورد امواج، باد، زلزله، فعالیت های زیستی و ... است که می تواند ارتباط صوتی و سایر عملکردهای موجودات دریایی را مختل کند با این حال فرض بر این است که موجودات

---

[126] Sound
[127] Signal
[128] Noise
[129] Ambient Noise

Archive of SID

www.SID.ir

دریایی در طی میلیون‌ها سال حیات خود توانسته اند به کمک فرایند تکامل با این عوامل محیطی سازگار شوند. فعالیت‌های انسانی به علل مختلف در دریا به تولید سرو صدای و یا به عبارتی آلودگی صوتی[۱۳۰] می پردازد. این سروصدا می تواند به صورت واضح مانند یافتن اشیای زیرآب، سنجش ویژگی های محیطی و یا به صورت محصول جانبی و تصادفی از فعالیت‌های صنعتی مانند ساخت پل و یا حمل و نقل دریایی ناشی شوند [۱ و ۲] .

۲- روش تحقیق

۲-۱ ماهیت مساله

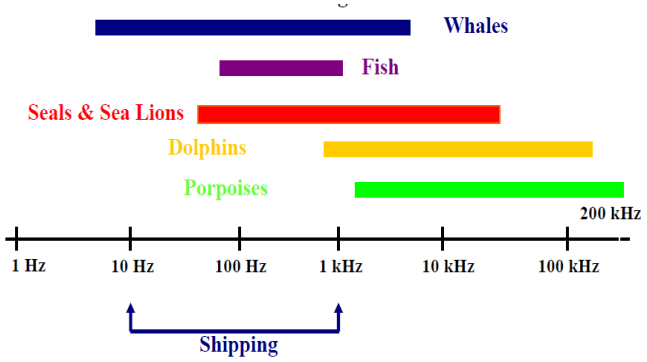
بیش‌تر موجودات دریایی شامل وال‌ها، فک‌ها، شیرهای دریایی، ماهی‌ها و ..... صوت را برای ادامه حیات استفاده می کنند. مثل برقراری ارتباط، پیدا کردن غذا، اجتناب از شکار شدن و ناوبری و.... . تحقیقات بر روی این موجودات و حتی برخی از بی مهره ها، نشان می دهد که سر و صدای تولید شده توسط انسان پتانسیل آسیب رساندن به رفتار و یا اختلال در عملکرد بیولوژیکی جانوران را دارد. با افزایش سر و صدا، امکان افزایش اختلال در رفتارهای جمعی، تغییر رفتاری، کاهش برقراری ارتباط در پاسخ دهی و یافتن غذا، دوری از شکارچیان، پرهیز از برگشتن به محل زندگی و حتی مرگ را باعث می شود. به خصوص که رنج وسیع تردد کشتی‌ها در مناطق جغرافیایی با فرکانس معمولا پایین، امکان تداخل فرکانس با صوت وال‌ها، شیرهای دریایی و ماهی‌ها (شکل۱) وجود دارد [۲].

---

[130] Noise Pollution

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: نمودار فرکانس صوت کشتی‌ها و جانوران دریایی

۲-۲ اثرات آلودگی صوتی بر روی حیات دریایی

اگرچه بهبود صنایع دریایی باعث ارتقا و پیشرفت جهان و تکنولوژی شده است اما نمی‌توان انکار کرد که همزمان با آن طبیعت باید بهای آن‌را بپردازد. حمل و نقل کشتی‌ها بر روی محیط زیست اثر می گذارد. دو دلیل اصلی اثرات منفی سر و صدا بر روی حیات دریایی به این خاطر است که صدا در آب مسافت بیش‌تری را نسبت به هوا طی می کند و دوم این‌که موجودات دریایی به صدا بسیار حساس‌ترند نسبت به خشکی زی‌ها.

با این وصف، صدا در کف دریا برای زیستن مانند جستجوی غذا، برقراری ارتباط، شکار و ... است و فقدان مکانیسم های ضد صدا در آب می تواند منجر به اختلالات جدی در دریا شود. منبع آلودگی صوتی می تواند شامل هر صدایی از کشتی‌ها حتی فرکانس پایین سونار در زیردریایی‌ها، لرزه های ناشی از اکتشاف نفت و گاز، ترافیک کشتی های تجاری و حتی جت اسکی‌ها باشد. اگرچه مطالعات نشان می دهد که این صداها اثری بر انسان ندارد اما برای حیات دریایی مضر هستند. جمعیت ستاسه آها[۱۳۱] (نهنگ ها و دلفین ها) در همچنین مناطقی کاهش می‌یابند.

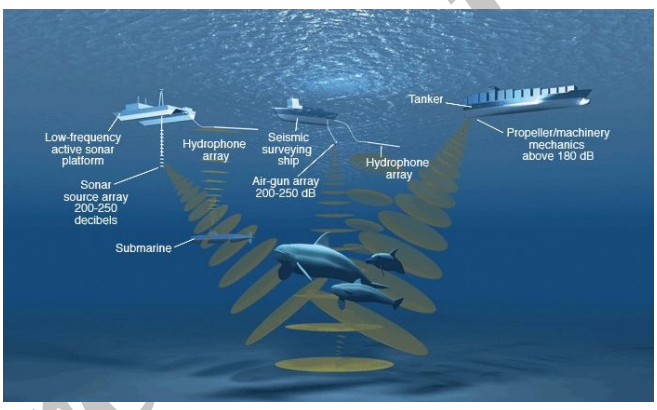
مرگ جانداران مانند وال‌ها چند ساعت بعد از در معرض صدای شدید (غیرمتعارف)

---

[131] Cetacean

Archive of SID
www.SID.ir

قرارگرفتن اتفاق می افتد. به ساحل آمدن وال ها کمی بعد از مانورها (تمرین های) سونار یکی از اثرات منفی آلودگی صوتی است. به خشکی زدن در سواحل یونان(۱۹۹۶)، باهاما (۲۰۰۰)، مادیرا (۲۰۰۰) ویکوئز پورتوریکو (۱۹۹۸ و ۲۰۰۲)، جزایر قناری (۲۰۰۲)، اسپانیا و سواحل آمریکا (۲۰۰۳) و هاوایی (۲۰۰۴) جایی که تمرین‌های سونار، اکتشافات کشتی‌های اکتشافی، لرزه‌نگاری و ترافیک زیاد کشتی‌ها امری روتین است. در سال ۲۰۰۴ در سواحل استرالیا و نیوزلند ۱۶۹ دلفین و نهنگ تلف شدند. در ۲۰۰۵ در حدود ۸۰ دلفین در سواحل فلوریدا به ساحل آمدن بعد از تمرین سونار نظامی. جمع شدن توده‌های زیادی از ماهیان مرکب در سواحل اسپانیا بعد از انجام مانور سونار بین سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ نشان داد که آلودگی صوتی می‌تواند باعث این اختلالات شود (ماهی مرکب یکی از حلقه های مهم زنجیره غذایی است وکمبودش می‌تواند باعث بی‌غذایی آبزیان بزرگ‌تر و زیادشدن بی اندازه پلانکتون‌ها و حتی بلوم جلبکی گردد) [۳ و ۸] .



شکل۲- نمودار نشان دهنده سروصدای ناشی از فعالیت انسان در دریا

آوارگی یا حرکت بی‌برنامه آبزیان به جای جدید یکی از عوارض آلودگی صوتی است. اگرچه یک مکانیسم غریزی برای زنده ماندن است اما مطالعات نشان می دهد که امید زیادی برای خو گرفتن این آبزیان در محیط های جدید نمی رود. از اثرات آلودگی صوتی می توان به این اشاره نمود که آبزیان با صداهای بیگانه احساس هشدار یا خطر می کنند و ممکن است این هشدار منجر به خون ریزی، تغییر مسیر غوطه وری، مهاجرت، آسیب به ارگان‌های داخلی و اختلال در

www.SID.ir

ارتباطات عادی شود و حتی آلودگی صوتی می تواند جلوی برقراری ارتباط جانور با همنوعان‌اش و غذا یافتن و یا آگاهی از خطرات پیرامونش را بگیرد.

خیلی از جانوران مانند ماهی‌های صخره‌ای، ساردین، مارماهی، کاد، ماهی سفید و.... نشانه‌هایی از آسیب های جدی به گوش ها و حس شنوایی آنها بعد از در معرض صدای شدید قرار گرفتن نشان می دهند و یا افزایش حساسیت ماهی ها در مراحل رویانی و ابتدایی، افزایش مرگ و میر ماهیان هنگام زاد و ولد و یا در بچگی و یا افزایش ناهنجاری. مهاجرت و کاهش تنوع زیستی ماهیان نه تنها اکوسیستم محلی را به هم می ریزد که بر انسان ها هم اثر می‌گذارد. کاهش صید ماهیان مانند ساردین، کاد و ... در محل هایی که ترافیک کشتی‌ها زیاد هستند، مشاهده می شود. حساسیت آبزیان به سرو صدا متفاوت است اگرچه ستاسه‌آها مقاوم‌ترند، اما موجودات کوچک‌تر مثل ماهی ها، صدف ها، نرم تنان و میگوها حساس‌ترند. مطالعه روی ۲۴ گونه ستاسه آ و ۵۵ گونه جانور آبزی نشان داده است که نسبت به فرکانس‌های متفاوت صوتی، عکس العمل منفی نشان می دهند. آبزیانی شامل انواع وال ها (از نوع بزرگ نجیب تا نهنگ قاتل)، ماهی خاردار، گوش گیرها، گلدفیش، کاد، تون، ماهی مرکب، لابستر و میگو از گونه هایی بودند که مطالعه شده اند[۸] .

ارزیابی صدای کشتی‌ها از دو جنبه قابل بررسی است:

۱- از لحاظ تاثیر بر شنوایی آبزیان

۲- تاثیر بر رفتار و عملکرد آبزیان

قابلیت شنوایی بر روی ۲۲ گونه از ۱۲۵ گونه پستانداران دریایی و ۱۰۰ گونه از ۲۵۰۰۰ گونه ماهی‌های استخوانی (من جمله آب شیرین) بررسی شده است و فقدان اطلاعات کافی به ویژه در پستانداران دریایی[۱۳۲] وجود دارد البته مطالعات نشان داده است که قابلیت شنوایی بر اساس

---

[132] Marine Mammals

Archive of SID

www.SID.ir

جنس، سن، جمعیت و گونه آبزیان تفاوت دارد. ستاسه آها (وال ها، دلفین ها و ....) رنج متفاوتی از فرکانس حساس هستند (بین ۰/۰۱ تا ۵ کیلوهرتز). ستاسه آ های دندان دار (Odontocete) رنج شنوایی با فرکانس از ۴ هرتز تا ۱۰۰ کیلوهرتز دارند و حتی در دلفین ها این رنج به ۴ هرتز تا ۱۵۰ کیلوهرتز می رسد. سیل، شیردریایی و فیل دریایی (Pinnipeds) از آنجایی که زندگی روی آب و هم زیر آب باید باشند، خودشان را با رنج فرکانس صوتی در هوا هم در آب آداپته (۰/۲ تا ۳۰ کیلوهرتز) کرده اند. گاودریایی و دوگانگ قدرت شنوایی پایینی (۵ تا ۳۰ کیلوهرتز) دارند و در مورد قدرت شنوایی بالن ها، سمور آبی و خرس قطبی هم اطلاعاتی در دست نیست. ماهی‌ها برطبق آناتومی شنوایی و رفتارشان تقسیم بندی شده و از لحاظ ساختاری، شنوایی کم‌تری (۰/۱ تا ۱ کیلوهرتز) نسبت به بقیه دارند، مگر در مواردی که برخی ماهی‌ها قابلیت شنوایی بالاتر، صداهای فراصوتی (بین ۲۰ تا ۸۰ کیلوهرتز)، را به دست آورده اند.

تاثیر سر و صدا بر شنوایی آبزیان می تواند به صورت مستقیم و غیرمستیقم باشد و بر روی رفتار، شنوایی و فیزیولوژی جانداران می گذارد. صداها باعث تغییرات موقت و یا دائمی شده و حتی ممکن است به طور غیرمستقیم بر روی فیزیک بدن ماهی‌ها اثر گذاشته و باعث مرگ و میر تخم‌ها، زاد و ولد بچه ماهی‌ها ضعیف و نارس شود. در خصوص خطوط کشتیرانی شلوغ (پرترافیک) و یا لنگرگاه ها، گونه های بومی از لحاظ آزمایش‌های تئوری نشان داده اند که برخی شنوایی‌ها کاهش می یابد وقتی مدت زمان طولانی در معرض سروصدای کشتی‌ها و صنایع دریایی قرار بگیرند. بیش‌ترین انتشار انرژی صوتی از کشتی‌های بزرگ تجاری زیر ۱۰۰۰ هرتز است که بیش‌ترین همپوشانی صوتی برای ماهی‌ها و پستاندارانی همچون ستاسه آها و .... در تولید و دریافت صوت و اعمال بیولوژیکی آن‌ها را دارد. گاو دریایی در پاسخ به صدای کشتی‌ها در مسیرش، عمق فرورفتن در آب و نحوه حرکت دادن باله‌ها و سرش را تغییر داده و یا وال‌های قطب شمال با سرو صدا به طور ناگهانی بر روی آب می آیند.

شاید به این دلیل است که اقیانوس به دنیای سکوت معروف است. در این دنیا به قدر کافی صوت برای حیات وجود دارد و صدای اضافی یا خارجی، هارمونی این دنیا را بهم می‌ریزد.

Archive of SID

www.SID.ir

مطالعات بیش‌تر شاید بتواند به نتایج روشن‌تر و قطعی‌تری از اثرات آلودگی صوتی و یا راه حلی برای مقابله با آنها را پیش روی ما بگذارد، اما تا آن موقع که بتوان مکانیسمی ایمن برای اطمینان از جلوگیری آبزیان از اختلالات جدی یا مرگ بر اثر خطای انسانی یافت، پیشگیری بهترین راه برای حفظ این ارامش است [۱] .

۲-۳ فعالیت کشتی‌های بزرگ و تجاری

سر و صدای نابهنجار می تواند باعث ایجاد مشکل برای موجودات دریایی شامل فک‌ها، شیرهای دریایی، نهنگ ها، دلفین ها، لاک پشت های دریایی و ماهی‌ها شود. این صدا، چه توسط انسان و یا طبیعت باشد، خسارت مختلفی مثل اختلال در رفتارهای جمعی، تغییر رفتاری، کاهش برقراری ارتباط در پاسخ دهی، یافتن غذا، دوری از شکارچیان و یا پرهیز از محل زندگی یا حتی مرگ باشد. امکان تداخل باند فرکانسی کشتی‌ها با فرکانس صدای وال ها، سیل‌ها، شیرهای دریایی و ماهی‌ها است. به علاوه محدوده وسیع جغرافیایی کشتیرانی باعث شده تا صداها در مسافت‌های زیادی مختلفی پراکنده شوند و مشکل برای جانوران دریایی ایجاد کنند.

تحقیق بر روی صداهایی که انسان تولید می کند و اثراتش بر روی حیات دریایی چند سالی است مورد توجه قرار گرفته است. شکی نیست انسان بیش‌ترین تولید صدا را در محیط‌های دریایی ایجاد و صدای تولیدی انسان پتانسیل آسیب رساندن به رفتار و یا اختلال در عملکرد بیولوژی جانوران را دارد. طیف خسارت‌ها بستگی به خصوصیات منبع صدا، عملیات و جانوران دریافت‌کننده صدا دارد. با افزایش صدا، امکان اختلال هم افزایش پیدا می‌کند و ممکن است شدت صدا بالاتر باشد، مثل انفجار یا از منابع کم‌تر اما مداوم‌تر مثل کشتی‌های بزرگ باشد. اگرچه دانش در مورد اثرات منابع صدایی در دریا محدود است. اما سهم انسان در تولید صدای ناشی از افزایش تعداد سایز کشتی‌های تجاری از بقیه عوامل و در جاهای دیگر بیش‌تر است. تعداد روزافزون کشتی‌های بزرگ خصوصا تجاری، باعث افزایش سر و صدا در دریا و بالطبع افزایش تبعات منفی برای محیط زیست دریایی می‌شود. صدای کشتی‌ها با منحنی‌های استاندارد

Archive of SID

www.SID.ir

مشابه وضعیت دریا توصیف می شود. امروزه این تغییرات را در نه تنها در هنگام طراحی کشتی و پروانه‌ها، بلکه در هنگام آزمایش مدل‌ها و اندازه‌گیری‌ها در کشتی در نظر می‌گیرند. محدوده فرکانس کشتی‌ها از ۱۰ هرتز تا ۱۰۰۰ هرتز متغیر است و اما محدوده فرکانس صدای بیش‌تر کشتی‌ها ۸۰ تا ۳۰۰ هرتز است و پایه مطالعات و تدوین کدها بر اساس این محدوده در نظر گرفته می شود[۴].

دامنه فرکانس پایین تر از ۳۰۰ هرتز به دلایل زیر به عنوان مهم‌ترین نگرانی عنوان شده است:

- کشتی‌ها بیش‌ترین صدا را در این دامنه تولید می کنند.
- صدا در فرکانس های پایین به هیچ وجه در آب کاهش نمی یابد.
- فرکانس‌های ارتباطی نهنگ ها در این دامنه قرار دارد.
- صدای ناشی از فعالیت های کشتیرانی باعث اختلال در ارتباطات نهنگ ها می شود [۶].

۲-٤ منابع اصلی صدا در کشتی

بیش‌تر صدای کشتی مربوط به کاویتاسیون[۱۳۳] یعنی حرکت پروانه و حباب‌های خلاء ناشی از چرخش آن است، اگرچه ماشین آلات بر روی کشتی و موتور کشتی هم سر و صدا ایجاد می‌کنند. کاویتاسیون ناشی از پروانه مهم‌ترین عامل تولید صدای زیر آب توسط شناور می‌باشد. بنابراین برای خلاصی از این صدا بهترین راهکار استفاده از پروانه ای است که به طور خاص طراحی گردیده تا کاویتاسیون را به حداقل برساند. پروانه بسیاری از کشتی‌های جنگی و شناورهای تحقیقاتی بگونه ای طراحی گردیده اند که کاملا از ایجاد کاویتاسیون در سرعت‌های پایین‌تر از یک میزان مشخص که به آن سرعت شروع کاویتاسیون گفته می‌شود جلوگیری کنند. در کشتی‌های جنگی و شناورهای تحقیقاتی از پروانه های خاصی استفاده می‌کنند که برای

---

[133] Cavitations

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش سرعت شروع کاویتاسیون طراحی شده اند. این‌گونه پروانه ها به طور معمول ۱۵-۲۰ درصد نمونه های عادی هزینه در بر خواهند داشت چراکه تلاش‌های بیش‌تری برای طراحی، تست مدل و قالب گیری و ماشین کاری آنها صرف خواهد شد و البته طراحی این پروانه ها منجر به شناورهایی می‌شود که دارای کاهش چند درصدی بازدهی نسبت به شناورهای معمول می‌باشد لذا احتمال استفاده از آن در ناوگان تجاری کم است. قسمت‌های مختلف کشتی، صداهای مختلفی تولید می کنند که به صورت متفاوتی پراکنده می شوند با فرکانس‌های پایین که تا مسافت زیادی حرکت می کنند. صداهای با فرکانس کوتاه تا صدها مایل حرکت کرده و می‌توانند سطح صداهای محیط را افزایش دهنددر منطقه بزرگی از اقیانوس و با صداهای ارتباطی گونه های هم فرکانس تداخل پیدا کنند[۴] .

از مهم‌ترین عوامل صداساز در کشتی می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- موتورها

نیروی رانش بسیاری از کشتی ها بوسیله موتورهای احتراق داخلی تامین میشود. بر اساس سرعت دورانی موتور (دور بر دقیقه) می‌توان تفکیکی ایجاد نمود بین صدای ایجاد شده در کشتی‌های با سرعت دوران پائین و کشتی های با سرعت دوران متوسط و بالا. کشتی‌های با سرعت متوسط و بالا دارای قدرت بیش‌تری بوده اما صدای بیش‌تری ایجاد مینمایند. در قدرت برابر، صدای منتقل شده توسط هوا[۱۳۴] که توسط این موتورها تولید می‌شود مرتبط با سرعت و سرعت دوران و فشار ماکزیمم محفظه احتراق می‌باشد. صدا توسط اسکونجر، محفظه اگزوز و همچنین جعبه دنده تولید می‌شود. علاوه بر صدای تولید شده توسط فرآیند احتراق، صدا توسط دمنده‌های موتور[۱۳۵] (این صداها با فرکانس بالا می‌باشند) نیز تولید می‌شود. همچنین صدای تولید شده توسط عبور گاز از لوله های دودکش (فانل) را نیز باید به حساب آورد.

علاوه بر صدای تولید شده توسط موتور اصلی، صداهایی نیز توسط موتورهای جانبی مانند

---

[134] Airborne Noise
[135] Turbo Blower

Archive of SID

www.SID.ir

ژنراتورهای تولید برق و ماشین آلات دیگر (نظیر وینچ ها و موتورهای هیدرولیک) تولید می‌شود. قرار دادن موتور بر روی کاهنده صدا[۱۳۶] صدای تولید شده توسط آن را کاهش نمی‌دهد بلکه میزان ارتعاش منتقل شده به بدنه کشتی و در نتیجه صدای تولید شده از طریق تشعشع را کاهش می‌دهد. بزرگ‌ترین کشتی‌ها (با ظرفیت ناخالص کم‌تر از ۶۰۰۰۰ تن)، به ویژه تانکرهای نفتی، به توربین‌های بخار مجهز می‌باشند. در حالت کلی توربین‌های بخار با قدرت خروجی یکسان، دارای صدای کم‌تری از موتورهای احتراق داخلی می‌باشند. با این وجود سوپاپ‌های بخار می‌توانند باعث ایجاد صدای با فرکانس بالا گردند زمانی که باز باشند و یا این‌که به صورت درست در محل خود قرار نگرفته باشند.

۲- پروانه

صدای تولید شده توسط پروانه مرتبط با ایجاد کاویتاسیون (به دلیل تولید حباب های هوا که در پره‌های پروانه تولید می‌شوند) می‌باشد که مرتبط با خواص پروانه و پره های آن (تعداد، نوع، سطح و ...) است. پروانه ها یکی از مهم‌ترین منابع تولید صدای منتشر شده در کشتی‌های می‌باشند. در شناورهای سرعت بالا عمدتا سیستم واتر جت جایگزین پروانه گردیده که منجر به کاهش وزن و آلودگی صوتی می‌گردد.

۳- تهویه

صدای تولید شده توسط سیستم تهویه عمدتا ناشی از هواکش‌ها و سیستم رانش آن و شفت آن میباشد. این صدا مرتبط با شکل این هواکش‌ها، سرعت جابه جایی هوا و مجاری ورودی و خروجی هوا میباشد [۷].

۲-۵ تاثیر منابع تولید صدا

میزان صدا برحسبdB تقریبا با سرعت، رابطه خطی دارد. از آنجا که قدرت تقریبا با مربع سرعت رابطه دارد مشاهدات تجربی بیانگر این مطلب است که سطح صدای اضافی با ریشه دوم

---

[136] Silencer

Archive of SID

www.SID.ir

قدرت دریک سرعت ثابت کاهش خواهد یافت. صدای کشتی‌ها با منحنی استاندارد مشابه وضعیت دریا توصیف می‌شود. این منحنی ها درفرکانس۵۰ هرتز به اوج خود می رسند و نوسانات آن‌را تا حدود زیادی مرتبط با چرخش پروانه های کشتی می دانند. امروزه این تغییرات را نه تنها در هنگام طراحی کشتی و پروانه ها، بلکه در هنگام آزمایش مدل ها و اندزه گیری ها در کشتی در نظر می گیرند. فرکانس زیر۳۰۰ هرتز معمولا فقط برای پیروی از الزامات ارتعاش تا مرز ۸۰ هرتز در نظر گرفته می شود. با این حال، اگر ارقام را بر روی مقیاس‌های لگاریتمی جایگذاری نماییم، اهمیت بخش باند پهن در این بحث بیشتر مشخص می شود. حداکثر طیف باند پهن اغلب به اندازه سرعت ۵ بار گردش تیغه و معمولا در حدود ۴۰ تا ۶۰ هرتز بسته به سرعت محور و تعداد تیغه ها در نظر گرفته می شود. این خصوصیت صدایی تنها به پروانه کشتی‌ها محدود نمی‌شود و شامل ماشین الات، موتور و تهویه در کشتی هم می شود[۶].

صدای تولید شده توسط موتورها و تجهیزات فرعی تمایل به گسترش به تمام کشتی را دارند. سطح صدای اضافی تولید شده در موتور خانه معمولا ناشی از تعداد موتور های قرار گرفته در آن می‌باشد. سطح کلی صدا در یک محل مجموع شدت صوتی[۱۳۷] آن محل، ناشی از موتورهای موجود در محل به علاوه تاثیر پژواک صدا بر روی دیوارها می‌باشد. در حالت کلی، در یک موتورخانه دارای پژواک منطقی است که در تقریب اول سطح صدای اضافی در محل را یکسان فرض کنیم، مگر آن‌که در نزدیکی یک موتور با صدای بالا (فاصله ۲ متری از این ماشین). در مناطق مشترک، صدای اضافی از طریق پارتیشن ها، کف ها و سقف ها منتقل می‌شود. سیستم‌های تهویه و درها، مبلمان و پارتیشن ها می‌توانند

در سطح صدای اضافی یک محل از طریق ایجاد صدای پارازیتی تاثیر داشته باشند. صدای اضافی منتقل شده توسط پارتیشن ها، کف‌ها و سقف‌ها عموما توسط انرژی ارتعاشات ناشی از سیستم رانش و پروانه و همچنین ضربه و حرکت کشتی ناشی از شرایط دریا تولید می‌شوند. صدای اضافی منتقل شده توسط سازه به نسبت فاصله از منبع تحریک و نسبت عکس با اندازه و

---

[137] Acoustic Intensity

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب انتقال سطح کاهش می‌باشد.

جدا از صدای منتقل شده توسط سازه، صدای منتقل شده هوای ناشی از سیستم اگزوز موتورها، تهویه ها و تجهیزاتی نظیر سوپاپ های بخار و ... نیز می‌تواند وجود داشته باشد.

سطح صدای اضافی اندازه گیری شده در راه پله ورودی به کشتی اغلب بالاتر از صدای اندازه‌گیری شده در داخل ساختمان محل سکونت خدمه می‌باشد. دلیل این امر انتقال صدای اضافی مانند اگزوز موتورهای احتراق داخلی، سیستم‌های تهویه و تجهیزات فرعی مانند سیستم هیدرولیک یا ماشین آلات جابه جایی بار و باد می‌باشد. بعضی تجهیزات که داخل پله ورودی به کشتی قرار داده شده اند (مانند VHF و ...) نیز از منابع تولید صدای اضافی می‌باشند. در خصوص صدای اضافی ناشی از اگزوز گاز، محل قرار گیری قسمت بالایی مسیر خروجی دود (دودکش) نسبت به پله ورودی به کشتی سطح صدای اضافی را تعیین می‌کند. طیف صدای ناشی از اگزوز معمولا با فرکانس پائین می‌باشد بنابراین پارتیشن های شیشه ای در اطاق سکان نیازی به جداسازی صدا برای کاهش قابل توجه سطح صدای اضافی ندارند. اگر سیستم تهویه در نزدیکی قرار داشته باشد، این خود منبع مشکل ساز دیگری از تولید صدای خارجی خواهد بود. صدای تولید شده در تهویه ها گاهی تا ۱۲۰ دسی بل نیز میرسد[۷].

۳-توجه مجامع جهانی وسازمان بین المللی دریانوردی(IMO)

سازمان بین المللی آیمو از سال ۲۰۰۷ از طریق کمیته حفظ محیط زیست دریایی (MEPC57)[۱۳۸] با تشکیل یک کارگروه تخصصی شروع به فعالیت بر روی تاثیرات صدای کشتی‌ها بر روی جانوران دریایی پرداخت، اگرچه همزمان با این کمیته، کمیته ایمنی دریایی[۱۳۹](MSC83) و سپس کمیته طراحی کشتی[۱۴۰](DE55) نیز شروع به فعالیت و تدوین کدهایی برای کاهش صدا پرداختند. هدف ایمو، رسیدن به کاهش ۳ دسی بل در ۱۰ سال و ۱۰

---

[138] Maritime Environment Protection Committee
[139] Maritime safety Committee
[140] Sub-committee on Ship Design and Equipment

Archive of SID

www.SID.ir

دسی بل در عرض ۳۰ سال در صدای کشتی‌ها است.

آیمو با توجه به اهمیت صدا و ضرورت کاهش صدا در دریا با توجه به حفظ ایمنی کار دریانوردان و ایمنی کشتی شروع به تدوین کدهایی در مورد سطوح صدا بر روی کشتی[۱۴۱] (۱۹۸۱) و راهنمای مدیریت و کاهش فرسودگی[۱۴۲] (۲۰۰۱) پرداخت. اگرچه اطلاعات کافی از طول جغرافیایی برای نتیجه گیری از سطح صدای محیط در منطقه بزرگی از اقیانوس در دست نیست، اما سازمان بین المللی دریانوردی با توجه به تبعات ناشی از صدای کشتی و اهمیت کاهش آن- با در نظر گرفتن ایمنی کشتی و دریانوردان- شروع به تدوین مقرراتی به منظور کاهش صدای کشتی‌ها شامل: کد سطوح صدا بر روی کشتی (۱۹۸۱) و راهنمای مدیریت و کاهش خستگی(۲۰۰۱) پرداخت. حتی در سال ۲۰۰۵ دستورالعمل طراحی مناطق به ویژه مناطق حساس دریایی[۱۴۳] (PSSA) بازنگری شد و موارد مربوط به تاثیر منفی صدای کشتی‌ها بر آبزیان این مناطق دیده شده است. برطبق ماده 124(1) کنوانسیون حقوق دریاها (UNCLOS)، کشورهای عضو موظف به حفاظت از تنوع زیستی دریایی و پیشگیری و کنترل هرگونه منبع آلودگی هستند.

در مجامع بین المللی طرفدار محیط زیست، توافق‌نامه‌های منطقه ای- بر اساس کنوانسیون مهاجرت گونه ها- تحقیق و ارایه راهکار به منظور جلوگیری از تاثیر صدای کشتی‌ها بر روی آبزیان مانند توافق نامه حفاظت از ستاسه آها در دریای سیاه و مدیترانه، توافق نامه حفاظت از وال‌های کوچک در دریای بالتیک و دریای شمال تهیه شده است [۴].

تحقیقات آیمو در زمینه موارد مبهم کنونی/ زمینه های تمرکز آینده :

- صدای اضافی پروانه و ارتباط بین کاویتاسیون و انژی صوتی زیر آب
- تعیین میزان ارتباط کاهش صدای اضافی یک کشتی و کاهش سطح صدای اضافی محیط

---

[141] Code on noise levels on board ships, A.468(XII)

[142] Guidance of Fatigue mitigation and management, MSC/Circ.1014

[143] Particularly sensitive sea Area (PSSA)

Archive of SID

www.SID.ir

- ارتباط بین اندازه گیری صدای اضافی با سیستم های رد گیری مانند سیستم تشخیص اتوماتیک (AIS)
- ادامه پیشرفت در تعیین میزان مختل شدن ارتباط بین موجودات دریایی در اثر صداهای اضافی ناشی از کشتی و همچنین تاثیرات صدای اضافی زمینه ناشی از کشتی ها بر موجودات دریایی
- ادامه پیشرفت در بررسی اهمیت بیولوژیکی ایجاد صداهای اضافی در محدوده شنوایی پستانداران دریایی
- ملاحظات ناوبری و رویه عملیاتی که منجر به کاهش صدای اضافی کشتی‌ها می‌شود نظیر کاهش سرعت و یا انتخاب مسیرهای مناسب‌تر.

در صنعت و موسسات علمی، مطالعاتی بر روی طراحی، فعالیت و حمل کالای کشتی و... برای تعیین معیارهای تکنیکی، اقتصادی و عملی قابل دسترسی و ممکن، برای کاهش صدا انجام شده است. استفاده ازکشتی‌های بی صدا برای جایگزینی با کشتی‌های بزرگ به ویژه تجاری نیاز به تحقیق و آنالیزهای اقتصادی بیش‌تری دارد و بایستی میزان هزینه مورد نیاز برای این جایگزینی و به صرفه بودن این جایگزینی بررسی شود.

وزارت اقیانوسی و جوی آمریکا[۱۴۴] (NOAA) بین سال‌های ۲۰۰۴ الی ۲۰۰۷ دو سمپوزیوم بین‌المللی برای مقامات دولتی، صنعتی، دانشگاهی و طرفداران محیط زیست برگزار نمود. این نشست در سال ۲۰۰۴ تلاش زیادی برای قبولاندن این داشت که صدای کشتی‌ها تاثیرات منفی بر روی حیات دریایی داشته و تغییر در طراحی و عملکرد کشتی، می‌تواند علاوه بر مزایای محیط زیستی، از لحاظ اقتصادی نیز مفید باشد، اما به علت عدم وجود تحقیقات کافی و نیاز کشورها به حمل و نقل دریایی، نتوانست به جمع بندی برسد. در سال ۲۰۰۷ نشست دوم با اطلاعات بیش‌تر و محققین آگاه‌تر برگزار شد و از تکنولوژی‌های به روز مثل وجود کشتی‌های بی‌صدا در صنایع نظامی و کشتی‌های تحقیقاتی و امکان‌سنجی استفاده از این تکنولوژی در

---

[144] The national Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)

Archive of SID

www.SID.ir

کشتی‌های بزرگ و همچنین استقرار سیستم صدای غیرفعال[۱۴۵] برای سنجش سطح صدا کشتی بر روی جانوران آبزی در مناطق پرترافیک مثل بوستون، ماساچوست و کالیفرنیا ارایه شد [۴].

تحقیقات نیروی دریایی آمریکا بر تاثیر صدا بر شنوایی و رفتار آبزیان شامل:

– ارزیابی آسیب‌های شنوایی، مرگ و میر آبزیان، عکس‌العمل‌های رفتاری

– تهیه بانک اطلاعاتی از فراوانی آبزیان، پراکنش و عادات زیستی

– تهیه تکنولوژی‌های پیشرفته مثل نصب سنسور صوتی، رادار، نور مادون قرمز و نصب تگ‌هایی بر آبزیان برای مطالعات شنوایی و آناتومی، استرس‌های فیزیولوزیکی [۱].

٤- بحث و نتیجه گیری

بحث کاهش صدای کشتی‌ها باید توسط معماران کشتی و مهندسین موتور مورد بررسی قرار گرفته و توجه خاصی به کشتی‌های موجود و نسل آینده شده و میزان عملیاتی بودن، هزینه امکان پذیر بودن راه کارهای موجود برای کاهش صدا در این کشتی ها نیز صورت پذیرد. این بررسی بهتر است ملاحظات عملیاتی بودن- تا حد امکان- و ملاحظات اقتصادی را مد نظر قرار دهد. با عنایت به توجه اندک به صدای ایجاد شده در زیر آب در طراحی و ساخت کشتی در حال حاضر، در نظر گرفتن جنبه های مختلف رانش شناور، و پس از آن طراحی بدنه، ماشین آلات کشتی، و راهکارهای عملیاتی معطوف گردد.

در آینده موتورهای الکترونیکی صدایی کم‌تر از سایر روش‌های ایجاد رانش، تولید خواهند کرد، البته این به معنای حذف موتورهای دیزل و توربین گازی نیست و به معنی سیستم متمرکز تولید و انتقال انرژی الکتریکی به تمام مصرف کنندگان در سرتاسر کشتی است. یکی از نتایج مثبت این کار امکان حذف میله محرک[۱۴۶] است. میله محرک موجب ایجاد محدودیت‌های بسیاری در طراحی (نصب) و بهره برداری (هم‌راستایی، آب بندی، صدا و ارتعاشات) می‌گردد.

---

[145] Passive Acoustic System

[146] Drive Shaft

Archive of SID

www.SID.ir

علاوه بر این، معمار کشتی امکان انتخاب محل بهینه قرار دادن تجهیزات را خواهد داشت. به طور مثال می‌تواند توربین گازی و موتور دیزل را در محل مناسب قرار دهد. کشتی الکتریکی علاوه بر این نیاز به انتقال سیالات مختلف در کشتی را کاهش می‌دهد. اساس الکتریزه‌کردن کشتی‌ها در حال حاضر در کشتی‌های تجاری به خصوص کشتی‌های مسافری که راحتی (صدا و ارتعاشات کم‌تر) بسیار حیاتی می‌باشد مورد استفاده قرار گرفته است .

پروانه ها تاکنون بالاترین میزان تولید صدا از کشتی‌ها (با اختلاف حداقل ۱۰ دسی بل از سایرین) را در مهم‌ترین دامنه فرکانس زیر ۳۰۰ هرتز را به خود اختصاص داده است. با این حال، علت اصلی تولید این صدا و خصوصیات آن تاکنون رفع نشده است، زیرا در چهارچوب‌های دیگر مانند ایمنی، راحتی و آسایش پرسنل و موارد فنی دیگر نمی گنجد. در صورت وجود امکان توصیف فرایند تولید صدا می توان شیوه هایی برای کاهش صدای تولید شده اندیشید. تغییراتی از قبیل طراحی متفاوت پروانه ها، اقدامات ثانویه (مانند تهویه جزئی با هوا) و غیره را می‌توان پس از درک شرایط تولید این صدا اعمال نمود.

٤-١ اقدامات مورد توجه برای کاهش صدای شناور

کمیته تخصصی MEPC وابسته به آیمو در سال ۲۰۱۰ راهکارهایی برای کاهش صدای کشتی به شرح زیر، ارایه داد:

٤-١-١ رانش

۱- طراحی و اصلاح پروانه برای کاهش کاویتاسیون

- بهینه سازی طراحی اولیه پروانه
- پروانه های با گام ثابت در مقابل پروانه های با گام متغیر
- دو پروانه هم محور مخالف گرد[۱۴۷]
- پروانه های با لبه خمیده

---

[147] Contra-Rotating

Archive of SID

www.SID.ir

۲- سیستم رانش

—طراحی سیستم دو پروانه ای [۱۴۸]برای کاهش سرعت لبه پره

—سیستم پروانه ازیموث[۱۴۹] که منجر به بهبود میدان ویک وارده به پروانه میشود

۳- بهینه سازی پروانه/ شکل بدنه (نیاز به تست در تانک کشش دارد)

- تعیین شکل بدنه بهینه برای سیستم رانش و نوع پروانه، به منظور کاهش مقاومت بدنه و کاهش اغتشاش در میدان ویک
- نحوه انتشار صدای اضافی ناشی از تغییرات فشار از طریق بدنه[۱۵۰]

٤-۱-۲ طراحی بدنه

- صدای ناشی از جریان مربوط به شکل بدنه های متفاوت
- صدای ناشی از جریان بر اساس تابعی از سرعت شناور
- جریان اطراف اضافات بدنه در زیرآب نظیر سکان، اسکگ[۱۵۱]، سیستم مانور سینه[۱۵۲] و ...
- شکل و فرم سینه
- استفاده از سیستم پوششی میرا کننده[۱۵۳] و اختلاف میان انواع پوششها

٤-۱-۳ ماشین آلات موجود بر روی کشتی

- نحوه اتصال تجهیزات به بدنه[۱۵۴] مانند منفعل و یا پویا برای ماشین آلاتی از قبیل موتور اصلی، ژنراتورها، پمپ ها و ..
- میرا نمودن صدای تجهیزات در محفظه ها
- توجه به کاهش صدا در خرید تجهیزاتی که صدای کم‌تری تولید می کنند.

---

[148] Twin Screw
[149] Azimuth electric Propulsion Drive
[150] Structure-Born
[151] Skeg
[152] Bow Thruster
[153] Dampening Coating
[154] Mount

Archive of SID

www.SID.ir

٤-۱-٤ اصلاحات عملیاتی

- تغییرات سرعت، شامل تاثیر سرعت شناور بر روی پروفیل صدای اضافی برای یک شناور خاص
- تغییرات بار (بار کامل، بار جزبی و حالت بالاست)
- تغییرات هیدروگرافی (عملیات در آب های کم عمق در برابر آب های عمیق، ویژگی های ستون آب)
- نگهداری و تعمیرات- تناوب و تعداد [۵].

٤-۲ راهکارهای پیشنهادی

تردیدی نیست که برخی محققین و فعالان صنایع دریایی به مساله تاثیر آلودگی صوتی بر روی حیات دریایی علاقمند شده اند و در حال بررسی و تحقیق روی این موضوع هستند، لیکن برای حفظ محیط زیست دریایی، همگان باید تلاش کنند و فقط نمی توان به طراحی و تغییر در ساختار و عملکرد کشتی‌ها برای کاهش صدا اکتفا نمود. نتیجه گیری در مورد خسارات زیستی ناشی از صدای کشتی‌ها موضوع مشکلی است و مشکل‌تر از آن، یافتن راه حل برای رفع این معضل. به هرحال در مجموع می توان موارد زیر را پیشنهاد داد:

- بررسی مقالات و کتب منتشر شده در ارتباط با کاهش صدا و انتخاب ایده های عملی و قابل دسترسی .
- تعیین نقاط پرترافیک و کم‌ترافیک کشتیرانی جهانی.
- تهیه راهنمای گزارش دهی(Reporting System) و مدیریت اطلاعات در مناطق مختلف دریایی.
- تهیه قوانین ملی- بین المللی در کنترل و کاهش آلودگی صوتی.
- انجام مطالعات علمی با نصب تگ هایی بر روی جانوران برای کنترل و مانیتور حرکات و رفتارشان در مقابل صدای محیط.
- تهیه تکنولوژی های جدید برای تست سریعتر شنوایی، تعیین آستانه دریافت صدا و هدایت آزمایش‌های مربوط به عادت‌های رفتاری و همچنین غیرمعمول در محیط آزمایشگاهی و در طبیعت.
- ارتقای فرهنگ زیست محیطی برای قبولاندن اهمیت سلامت آبزیان به افکار عمومی .

Archive of SID

www.SID.ir

۵- مراجع

1- Brandon, L. Shipping Noise and Marine Mammals: A Forum for Science, NOAA Ocean Acoustics Program, USA, 2005.

2-Brandon,L. Potential Application of Vessel-Quieting Technology on Large Commercial Vessel, NOAA Ocean Program, 2007.

3- Green, M. Acoustic Impact on Marine Life, USA, 2010.

4-International Maritime Organization. Committee on Marine Environment Protection, MEPC57/INF.4, London, 2007.

5-International Maritime Organization, Committee on Marine Environment Protection, MEPC 61/19/, London, 2010.

6-International Maritime Organization, Committee on Marine Environment Protection, MEPC 62/19/1, London, 2011.

7- NERC, Noise Control and Limit, Volume2, 2008.

8-Smita, Effects of Noise Pollution from Ships on Marine Life, 2011.

Archive of SID

www.SID.ir