

## آلودگی صوتی محیط زیست دریایی؛ معضلی جدید ناشی از صدای کشتیها

رویا امام<sup>۱</sup>، ابراهیم نادری<sup>۱</sup>، آرش جهانبازی<sup>۱</sup>  
سازمان بنادر و دریانوردی

### چکیده

اگرچه بهبود صنایع دریایی باعث ارتقا و پیشرفت جهان و تکنولوژی شده اما نمی توان انکار کرده همزمان با آن طبیعت بایدبهای آنرا بپردازد. تعداد روزافزون کشتیهای بزرگ خصوصا تجاری، باعث افزایش سر و صدا در دریا و بالطبع افزایش تبعات منفی برای محیط زیست دریا میگردد. از عمده ترین عوامل ایجاد صدا میتوان به صدای پروانه یا کایتاسیون (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 [ ۳ و 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 آبی، 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 می تواند 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 سازگار شوند. صدا<sup>۱</sup> (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<sup>۲</sup> که صداهای حاوی اطلاعات معنی داری زیستی و یا غیرزیستی همچون یافتن طعمه، مکان خاص، غذا، برقراری ارتباط، شکار و... است. برای آبریان 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<sup>۳</sup> (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 زیر آب 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<sup>۴</sup> (صدای پس زمینه) به عنوان سر و صدایی ناشی از منابع نامشخص متعدد و به صورت همه 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 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<sup>۵</sup> 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 فعالیت های صنعتی مانند ساخت پل و یا حمل و نقل دریایی ناشی شوند [ ۱ و ۲ ] .

### ۲- روش تحقیق

#### ۲-۱ ماهیت مساله

<sup>1</sup> Sound

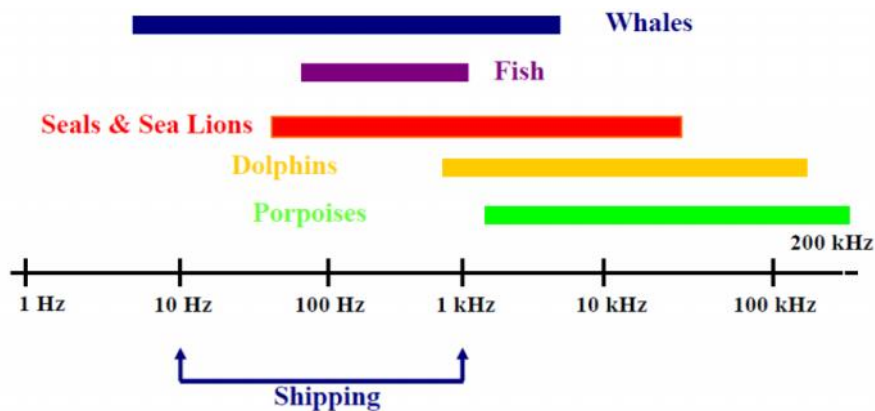
<sup>2</sup> Signal

<sup>3</sup> Noise

<sup>4</sup> Ambient Noise

<sup>5</sup> Noise Pollution

بیشتر موجودات دریایی شامل والها، فکها، شیرهای دریایی، ماهیان و ..... صوت را برای ادامه حیات استفاده می کنند. مثل برقراری ارتباط، پیدا کردن غذا، اجتناب از شکار شدن و ناپوری 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 معمولاً پایین، امکان تداخل فرکانس با صوت والها، شیرهای دریایی و ماهیان (شکل ۱) وجود دارد [۲].



شکل ۱: نمودار فرکانس صوت کشتیها و جانوران دریایی

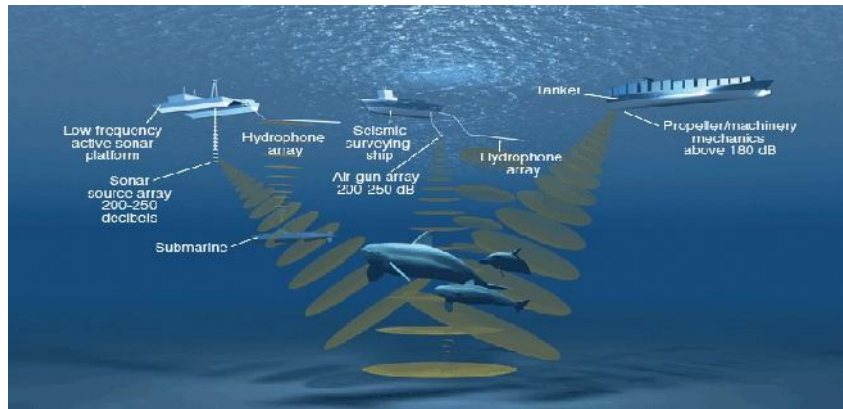
## ۲-۲ اثرات آلودگی صوتی بر روی حیات دریایی

اگرچه بهبود صنایع دریایی باعث ارتقاء و پیشرفت جهان و تکنولوژی شده است اما نمی توان 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 زی ها.

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 می شود. منبع آلودگی صوتی می تواند شامل هر صدایی از کشتی ها حتی فرکانس پایین سونار در زیردریایی ها، لرزه های ناشی از اکتشاف نفت و گاز، ترافیک کشتی های تجاری و حتی جت اسکی ها باشد. اگرچه مطالعات نشان می دهد که این صداها اثری بر انسان ندارد اما برای حیات دریایی مضر هستند. جمعیت ستاسه آها<sup>۶</sup> (نهنگ ها و دلفین ها) در همچنین مناطقی کاهش می یابند.

مرگ جانداران مانند وال ها چندساعت بعد از در معرض صدای شدید (غیرمتعارف) 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) و یکوئز پورتوریکو (۱۹۹۸ و ۲۰۰۲)، جزایر قناری (۲۰۰۲)، اسپانیا و سواحل آمریکا (۲۰۰۳) و هاوایی (۲۰۰۴) جایی که تمرین های سونار، اکتشافات کشتیهای اکتشافی، لرزه نگاری 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 توده های زیادی از ماهیان مرکب در سواحل اسپانیا بعد از انجام مانور سونار بین سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ نشان داد که آلودگی صوتی می تواند باعث این اختلالات شود (ماهی مرکب یکی از حلقه های مهم زنجیره غذایی است و کمبودش میتواند باعث بی غذایی آبزیان بزرگتر و زیادشدن بی اندازه پلانکتونها و حتی بلوم جلبکی گردد) [۳ و ۸].

<sup>6</sup> Cetacean



شکل ۲- نمودار نشان دهنده سروصدای ناشی از فعالیت انسان در دریا

آوارگی یا حرکت بی برنامه آبریان 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 آبریان در محیط های جدید نمی رود. از اثرات آلودگی صوتی می توان به این اشاره نمود که آبریان 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 ارتباطات عادی می شود و حتی آلودگی صوتی می تواند جلوی برقراری ارتباط جانور با همنوعانش و غذا یافتن و یا آگاهی از خطرات پیرامونش را بگیرد.

خیلی از جانوران مانند ماهی های صخره ای، ساردین، مارماهی، کاد، ماهی سفید و... نشانه هایی 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 می گذارد. کاهش صید ماهیان مانند ساردین، کاد و ... در محل هایی که ترافیک کشتیها زیاد هستند، مشاهده می شود. حساسیت آبریان به سرو صدا متفاوت است اگرچه ستاسه آنها مقاوم ترند، اما موجودات کوچکتر مثل ماهی ها، صدف ها، نرم تنان و میگوها حساس ترند. مطالعه روی ۲۴ گونه ستاسه آ و ۵۵ گونه جانور آبری نشان داده است که نسبت به فرکانس های متفاوت صوتی، عکس العمل منفی نشان می دهند. آبریانی 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 آبریان

۲- تاثیر بر رفتار و عملکرد آبریان

قابلیت شنوایی بر روی ۲۲ گونه از ۱۲۵ گونه پستانداران دریایی و ۱۰۰ گونه از ۲۵۰۰۰ گونه ماهیان استخوانی (من جمله آب شیرین) بررسی شده است و فقدان اطلاعات کافی به ویژه در پستانداران دریایی<sup>۷</sup> وجود دارد البته مطالعات نشان داده است که قابلیت شنوایی بر اساس جنس، سن، جمعیت و گونه آبریان تفاوت دارد. ستاسه آنها (وال ها، دلفین ها و ...) رنج متفاوتی از فرکانس حساس هستند (بین ۰/۱ 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 باشند، خودشان را با رنج فرکانس صوتی در هوا هم در آب آدایته (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. ماهیان بر طبق 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 ماهیان قابلیت شنوایی بالاتر صداهای فراصوتی (بین ۲۰ تا ۸۰ کیلوهرتز) را بدست آورده اند.

تاثیر سر و صدا بر شنوایی آبریان می تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم 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 ماهیان اثر گذاشته و باعث مرگ و میر تخم ها، زاد و ولد بچه ماهیان ضعیف و نارس شود. در خصوص خطوط کشتیرانی شلوغ (پرتراپیک) و یا لنگرگاه ها، گونه های بومی از لحاظ آزمایشهای تئوری نشان داده اند که برخی شنوایی ها 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 ماهیان و پستاندارانی همچون ستاسه آنها 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 باله ها و سرش را تغییر داده و یا وال های قطب شمال با سرو صدا به طور ناگهانی بر روی آب می آیند.

<sup>7</sup> Marine Mammals

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 می ریزد. مطالعات بیشتر شاید بتواند به نتایج روشن تر و قطعی تری 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 آبریان از اختلالات جدی یا مرگ بر اثر خطای انسانی یافت، پیشگیری بهترین راه برای حفظ این آرامش است [۱].

## ۳-۲ 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 ماهی 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، سیل ها، شیرهای دریایی و ماهیان است. به علاوه رنج وسیع جغرافیایی کشتیرانی باعث شده تا صدها در مسافت های 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 چندسالی است مورد توجه قرار گرفته است. شکی نیست انسان بیشترین تولید صدا را در محیط های دریایی ایجاد و صدای تولیدی انسان پتانسیل آسیب رساندن به رفتار و یا اختلال در عملکرد بیولوژی جانوران را دارد. طیف خسارتهای بستگی به خصوصیات منبع صدا، عملیات و جانوران دریافت کننده صدا دارد. با افزایش صدا، امکان اختلال هم افزایش میگردد و ممکن است شدت صدا بالاتر باشد، مثل انفجار یا از منابع کمتر اما مداوم تر 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 سازه های کشتیهای تجاری از رنج همه چیز در همه جا بیشتر است. تعداد روزافزون کشتیهای بزرگ خصوصا تجاری، باعث افزایش سر و صدا در دریا و بالطبع افزایش تبعات منفی برای محیط زیست دریایی میگردد. صدای کشتیها با منحنی های استاندارد مشابه وضعیت دریا توصیف می شود. امروزه این تغییرات را در نه تنها در هنگام طراحی کشتی و پروانه ها، بلکه در هنگام آزمایش مدلها و اندازه گیریها در کشتی در نظر می گیرند. رنج فرکانس کشتیها از ۱۰ هرتز تا ۱۰۰۰ هرتز متغیر است و اما رنج فرکانس صدای بیشتر کشتیها ۸۰ تا ۳۰۰ هرتز است و پایه مطالعات و تدوین کدها بر اساس این رنج 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 کند.
- 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].

## ۴-۲ منابع اصلی صدا در کشتی

بیشتر صدای کشتی مربوط به کاویتاسیون<sup>۸</sup> یعنی حرکت پروانه و حبابهای خلاء ناشی از چرخش آن است، اگرچه ماشین الات بر روی کشتی و موتور کشتی هم سروصدا ایجاد می کنند. 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 سرعت های پایین تر از یک میزان مشخص که به آن سرعت شروع کاویتاسیون گفته میشود جلوگیری کنند. در کشتی های جنگی و شناورهای تحقیقاتی از پروانه های خاصی استفاده میکنند که برای 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 دهند در منطقه بزرگی از اقیانوس و با صداهای ارتباطی گونه های هم فرکانس تداخل پیدا کنند [۴].

<sup>8</sup> Cavitations

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 کشتی های با سرعت دوران پائین و کشتی های با سرعت دوران متوسط و بالا. کشتی های با سرعت متوسط و بالا دارای قدرت بیشتری بوده اما صدای بیشتری ایجاد مینمایند. در قدرت برابر، صدای منتقل شده توسط هوا<sup>۹</sup> که توسط این موتورها تولید میشود مرتبط با سرعت و سرعت دوران و فشار ماکزیمم محفظه احتراق میباشد. صدا توسط اسکونجر، محفظه آگزوز و همچنین جعبه دنده تولید میشود. علاوه بر صدای تولید شده توسط فرآیند احتراق، صدا توسط دمنده های موتور<sup>۱۰</sup> (این صداها با فرکانس بالا میباشد) 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 ژنراتورهای تولید برق و ماشین آلات دیگر (نظیر وینچ ها و موتورهای هیدرولیک) تولید میشود. قرار دادن موتور بر روی کاهنده صدا<sup>۱۱</sup> 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 کشتی ها (با ظرفیت ناخالص کمتر از ۶۰۰۰۰ تن)، مخصوصا تانکرهای نفتی، به توربینهای بخار مجهز میشوند. در حالت کلی توربین های بخار با قدرت خروجی یکسان، دارای صدای کمتری از موتورهای احتراق داخلی میشوند. با این وجود سوپاپ های بخار میتوانند باعث ایجاد صدای با فرکانس بالا گردند زمانیکه 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 پره های پروانه تولید میشوند) میباشد که مرتبط با خواص پروانه و پره های آن (تعداد، نوع، سطح و ...) است. پروانه های یکی از مهمترین منابع تولید صدای منتشر شده در کشتی های میباشدند. 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 برحسب dB 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 قدرت در یک سرعت ثابت کاهش خواهد یافت. صدای کشتیها با منحنی استاندارد مشابه وضعیت دریا توصیف میشود. این منحنی ها در فرکانس ۵۰ هرتز به اوج خود می رسند و نوسانات آنها 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 اندازه گیری ها در کشتی در نظر می گیرند. فرکانس زیر ۳۰۰ 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 نمی شود و شامل ماشین آلات، 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<sup>۱۲</sup> آن محل، ناشی از موتورهای موجود در محل بعلاوه 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

<sup>9</sup> Airborne Noise

<sup>10</sup> Turbo Blower

<sup>11</sup> Silencer

<sup>12</sup> Acoustic Intensity

در سطح صدای اضافی یک محل از طریق ایجاد صدای پارازیتی تاثیر داشته باشند. صدای اضافی منتقل شده توسط پاریشن ها، کفها و سقفها عموماً 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 ضریب انتقال سطح کاهش مییابد.

جدا از صدای منتقل شده توسط سازه، صدای منتقل شده هوای ناشی از

سیستم آگزوز 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 اندازه گیری شده در داخل ساختمان محل سکونت خدمه مییابد. دلیل این امر انتقال صدای اضافی مانند آگزوز موتورهای احتراق داخلی، سیستمهای تهویه و تجهیزات فرعی مانند سیستم هیدرولیک با ماشین آلات جابه جایی بار و باد مییابد. بعضی تجهیزات که داخل پله ورودی به کشتی قرار داده شده اند (مانند VHF و ...) نیز منابع تولید صدای اضافی میباشند. در خصوص صدای اضافی ناشی از آگزوز 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 آگزوز معمولاً با فرکانس پائین مییابد بنابراین پاریشن های شیشه ای در اطاق سکان نیازی به جدا سازی 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 و سازمان بین المللی دریانوردی (IMO)

سازمان بین المللی آیمو از سال ۲۰۰۷ از طریق کمیته حفظ محیط زیست دریایی<sup>۱۳</sup> (MEPC57) 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<sup>۱۴</sup> (MSC83) و سپس کمیته طراحی کشتی<sup>۱۵</sup> (DE55) نیز شروع به فعالیت و تدوین کدهایی برای کاهش صدا پرداختند. هدف آیمو، رسیدن به کاهش ۳ دسی بل در ۱۰ سال و ۱۰ 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<sup>۱۶</sup> (۱۹۸۱) و راهنمای مدیریت و کاهش فرسودگی<sup>۱۷</sup> (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 حساس دریایی<sup>۱۸</sup> (PSSA) بازنگری شد و موارد مربوط به تاثیر منفی صدای کشتیها بر آبزیان این مناطق دیده شده است. برطبق ماده (1) 124 کنوانسیون حقوق دریاها (UNCLOS)، کشورهای عضو موظف به حفاظت از تنوع زیستی دریایی و پیشگیری و کنترل از هرگونه منبع آلودگی هستند.

در مجامع بین المللی طرفدار محیط زیست، توافق نامه های منطقه ای- بر اساس کنوانسیون مهاجرت گونه ها- تحقیق و ارائه 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 انرژی صوتی زیر آب
- تعیین میزان ارتباط کاهش صدای اضافی یک کشتی و کاهش سطح صدای اضافی محیط
- 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

<sup>13</sup> Maritime Environment Protection Committee

<sup>14</sup> Maritime safety Committee

<sup>15</sup> Sub-committee on Ship Design and Equipment

<sup>16</sup> Code on noise levels on board ships, A.468(XII)

<sup>17</sup> Guidance of Fatigue mitigation and management, MSC/Circ.1014

<sup>18</sup> Particularly sensitive sea Area (PSSA)

- 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 از کشتیهای بی صدا برای جایگزینی با کشتیهای بزرگ خصوصا 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<sup>۱۹</sup> (NOAA) بین سالهای ۲۰۰۴ الی ۲۰۰۷ دو سمپوزیوم بین المللی برای مقامات دولتی، صنعتی، دانشگاهی و طرفداران محیط زیست برگزار نمود. این نشست در سال ۲۰۰۴ تلاش زیادی برای قبولاندن 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 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 آگاه تر برگزار شد و از تکنولوژی های به روز مثل وجود کشتیهای بی صدا در صنایع نظامی و کشتیهای تحقیقاتی و امکان سنجی استفاده از این تکنولوژی در کشتیهای بزرگ و همچنین استقرار سیستم صدای غیرفعال<sup>۲۰</sup> برای سنجش سطح صدا کشتی بر روی جانوران آبی در مناطق پرتراфик مثل بوستون، ماساچوست و کالیفرنیا ارائه شد [۴].

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

- ارزیابی آسیبهای شنوایی، مرگ و میر آبزیان، عکس العملهای 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 فیزیولوژیکی [۱].

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

بحث کاهش صدای کشتیها باید توسط معماران کشتی و مهندسين موتور مورد بررسی قرار گرفته و توجه خاصی به کشتی های 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 صدای کمتری از سایر روشهای ایجادرانش، 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<sup>۲۱</sup> است. میله محرک موجب ایجاد محدودیتهای بسیاری در طراحی (نصب) و بهره برداری (همراستایی، آب بندی، صدا و ارتعاشات) می گردد. علاوه بر این، معمار کشتی امکان انتخاب محل بهینه قرار دادن تجهیزات را خواهد داشت. به طور مثال میتواند توربین گازی و موتور دیزل در محل مناسب قرار دهد. کشتی الکتریکی علاوه بر این نیاز به انتقال سیالات مختلف در کشتی را کاهش میدهد. اساس الکتریزه کردن 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 چهارچوب های 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 می توان پس از درک شرایط تولید این صدا اعمال نمود.

#### ۴-۱ اقدامات مورد توجه برای کاهش صدای شناور

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

<sup>19</sup> The national Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)

<sup>20</sup> Passive Acoustic System

<sup>21</sup> Drive Shaft

#### ۴-۱-۱ 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<sup>۲۲</sup>
- پروانه های با لبه خمیده

۲- سیستم رانش

- طراحی سیستم دو پروانه ای<sup>۲۳</sup> برای کاهش سرعت لبه پره
- سیستم پروانه ازیموت<sup>۲۴</sup> 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<sup>۲۵</sup>

#### ۴-۱-۲ 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 زیر آب نظیر سکان، اسکگ<sup>۲۶</sup>، سیستم مانور سینه<sup>۲۷</sup> و ...
- شکل و فرم سینه
- استفاده از سیستم پوششی میرا کننده<sup>۲۸</sup> و اختلاف میان انواع پوششها

#### ۴-۱-۳ ماشین آلات موجود بر روی کشتی

- نحوه اتصال تجهیزات به بدنه<sup>۲۹</sup> 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

#### ۴-۱-۴ اصلاحات عملیاتی

- تغییرات سرعت، شامل تاثیر سرعت شناور بر روی پروفیل صدای اضافی برای یک شناور خاص
- تغییرات بار (بار کامل، بار جزئی 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].

#### ۴-۲ راهکارهای پیشنهادی

تردید نیست که برخی محققین و فعالان صنایع دریایی به مسئله 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

<sup>22</sup> Contra-Rotating

<sup>23</sup> Twin Screw

<sup>24</sup> Azimuth electric Propulsion Drive

<sup>25</sup> Structure-Born

<sup>26</sup> Skeg

<sup>27</sup> Bow Thruster

<sup>28</sup> Dampening Coating

<sup>29</sup> Mount



برای کاهش صدا اکتفا نمود. نتیجه گیری در مورد خسارات زیستی ناشی از صدای کشتیها موضوع مشکلی است و مشکل تر از آن، یافتن راه حل برای رفع این معضل. بهر حال 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 کم ترافیک 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 استانه دریافت صدا و هدایت آزمایش های مربوط به عادت های رفتاری و همچنین غیرمعمول در محیط آزمایشگاهی و در طبیعت.
- ارتقای فرهنگ زیست محیطی برای قبولاندن اهمیت سلامت آبزیان به افکار عمومی .

## 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.