

## الگوی ۲۴ ساعته تغییرات تراز نوفه محیطی زیر آب در آب‌های بندر نوشهر، دریای مازندران

افشین محسنی آراسته<sup>۱\*</sup>، ایمان مهرابی دستنابی<sup>۲</sup> و محمدرضا سهیلی فر<sup>۳</sup>

۱- گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲و۳- دانشکده برق، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی، نوشهر، مازندران

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۱۷

### چکیده

در این پژوهش نوفه محیطی زیر آب بندر نوشهر با استفاده از تجهیزات و تحلیل گره‌های استاندارد، در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته اندازه‌گیری شده است. قابلیت پردازش بسیار مناسب تحلیل گره‌های استفاده شده (مانند تحلیل FFT سیگنال‌های دریافتی و ارائه طیف فرکانسی نوفه محیطی) این امکان را فراهم ساخت، تا ضمن مقایسه ترازهای طیفی بدست آمده با طیف ثابت منابع تولید نوفه در دامنه‌های فرکانسی مربوطه، به تحلیل اهمیت این منابع در تولید و انتشار نوفه پرداخته شود. از جمله نتایج این تحقیق آن است که هر چند این بندر در زمره بنادر پرتردد به حساب نمی‌آید، اما بررسی طیف تراز شدت نوفه محیطی زیر آب نشان دهنده محیطی پر تنش با ترافیک بالا می‌باشد. یکی از عمده‌ترین دلایل این امر، کم عمق بودن این ناحیه و اثر مرزهای ساحلی در تشدید اصوات منتشره زیر آب است.

### واژگان کلیدی

آکوستیک زیرآبی، نوفه محیطی، بندر نوشهر، دریای مازندران

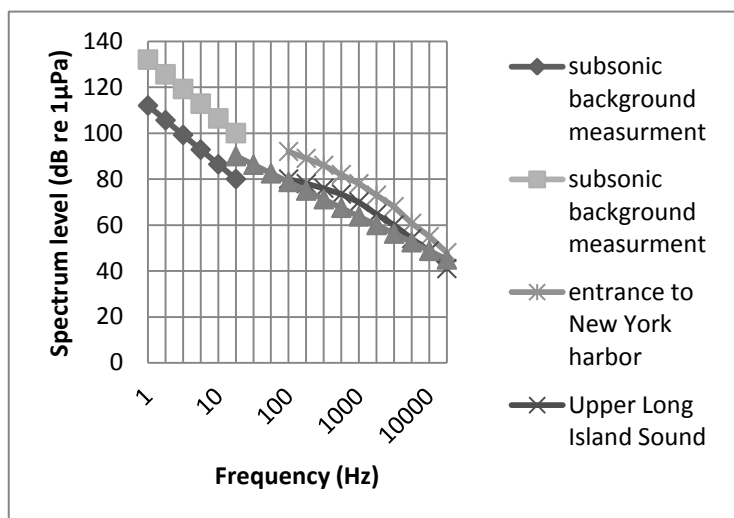
### مقدمه

نوفه محیطی عبارت است از صوت ناخواسته‌ای که در محیط ناهمگن دریا توسط تراگذار همه‌جهته دریافت می‌گردد و در دو محیط آب‌های عمیق و کم عمق مورد بررسی قرار می‌گیرد. تراز نوفه محیطی در آب‌های ساحلی، خلیج‌ها و بندرگاه‌ها دارای تغییرات شدیدتری نسبت به دیگر مناطق دریایی است. در چنین محل‌هایی، منابع نوفه از زمانی به زمان دیگر و از مکانی به مکان دیگر بسیار متغیر است. در یک بازه فرکانسی ثابت، نوفه محیطی ترکیبی از نوفه کشتیرانی، صنعتی، باد و زیستی است که دامنه فرکانسی از یک تا هزاران کیلو هرتز دارند (Etter, 2003).

اندازه‌گیری تراز شدت نوفه محیطی زیر آب در مناطق مختلف دریایی دنیا منجر به ارائه الگوها و مدل‌های مختلف انتشار نوفه شده که برخی از آنها را (Etter (2003) دسته‌بندی نمود. این بررسی تاکنون در دریای خزر انجام نشده و هیچ‌الگویی در این خصوص در دسترس نمی‌باشد. در حالیکه داشتن این الگو جهت مطالعه اثر نوفه بر روی سیستم‌های دفاعی زیرآبی نظیر مین‌های صوتی، اژدرها و سونارهای جاسوسی و همچنین بر روی آبزیان و نیز مطالعه وضعیت‌های مختلف محیط زیست دریایی در منطقه ضروری است.

در طول جنگ دوم جهانی، به منظور ساخت مین‌های صوتی و سونارهای محافظ لنگرگاه‌ها، اندازه‌گیری‌های متعددی از نوفه در خلیج‌ها و لنگرگاه‌ها به عمل آمد که طیف حاصل از آنها در برخی مناطق خاص، در شکل (۱) نشان داده شده است. در این نواحی، نوفه حاصل از فعالیت‌های صنعتی همراه با نوفه حاصل از جانوران دریایی سبب ایجاد اغتشاش در محیط می‌گردند (Urick, 1983). این مطالعات در سطح بسیار وسیع و با پوشش دامنه‌ای پهناور از

مکان‌ها و شرایط مختلف صورت پذیرفت و نتایج آن در گزارش‌های بسیار مهم و سپس در مقاله‌های علمی به چاپ رسید (Knudsen *et al.*, 1948). این مطالعات ثابت کردند که نوفه حاصل از تردد کشتی‌ها و دیگر شناورها، نوفه سطح دریا (شکست امواج و تولید حباب) و اصوات جانوران دریایی بخش غالب طیف نوفه محیطی را به خود اختصاص می‌دهند (Etter, 2003). Wenz (1962) کشف کرد که کشتی‌ها قادرند یک نوفه زمینه فرکانس پایین ایجاد کنند که می‌تواند در طیف کلی نوفه، قابل شناسایی نباشد. او این بخش را «نوفه ترافیک» نامید تا آن را از منابع کشتیرانی که به سهولت قابل شناسایی هستند مجزا کند. منحنی‌های نوفه وی اساس بسیاری از سیستم‌های پیش بینی امروزی قرار گرفته اند.



شکل ۱- ترازهای نوفه در خلیج‌ها و لنگرگاه‌ها در زمان جنگ جهانی دوم (Urlick, 1983).

Kibblewhite و همکاران (1976)، اهمیت وابستگی عرض جغرافیایی و عمق محور کانال صوتی را در نمایش نوفه کشتیرانی در عرض‌های بالا در کانال صوتی ثابت کرده و تشریح نمودند. Shaw (1978) و همکاران، ثابت کردند که سرعت‌های باد بدست آمده از طریق طیف نوفه اندازه گیری شده، می‌توان جهت محاسبه تنش باد در سطح اقیانوس‌ها استفاده نمود. Scrimger (1987) و همکاران، نیز سیستم‌های مشاهدات جوی از طریق نوفه محیطی را تحت عنوان سیستم WOTAN (Wind Observations Through Ambient Noise) توسعه داده و عملیاتی کردند. این سیستم در بازه فرکانسی 0.5-30kHz عملیاتی بوده و به طور موفقیت آمیزی جهت استخراج سرعت باد استفاده می‌شد. Buckingham (1996) و همکاران، خلاصه‌ای از اصوات سطح آب را ارائه نمودند. اقیانوس شناسان با استفاده از آن‌ها توانستند رابطه بین پدیده‌های جوی سطح آب و ترازهای نوفه محیطی زیر آب را توسعه دهند.

Vagle (1990) و همکاران نیز اندازه گیری‌های وسیعی توسط سیستم WOTAN انجام دادند.

Zedel (1999) و همکاران، یک پروفایلر جریان صوتی دوپلر جهت ثبت اصوات محیطی در بازه فرکانسی 1-75kHz ارائه نمودند که نسخه نهایی آن، OASIS (Ocean ambient sound instrument system) نام گرفت.

در ایران، پژوهش‌های مدونی توسط سازمان‌ها و موسسات نظامی انجام شده است، اما امکان دسترسی به آن‌ها وجود ندارد. پژوهش حاضر در زمینه اشاره شده، با توجه به موقعیت بندر نوشهر و اهمیت آن از نظر کشتیرانی در دریای مازندران انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

جهت بررسی نوفه محیطی زیر آب، در دریای خزر نیاز به اندازه‌گیری‌های فراوان است. در پژوهش حاضر یکی از نواحی مهم دریای مازندران در سواحل ایران، مورد نظر قرار گرفت. بندر نوشهر از نظر وجود و فراوانی طیف وسیعی از اصوات زیر آب، جهت اندازه‌گیری‌های میدانی مناسب تشخیص داده شد. سنجش‌ها در مردادماه سال ۱۳۸۹ شمسی در محوطه ورودی بندر نوشهر، در موقعیت جغرافیایی  $36^{\circ} 39.583'$  شمالی و  $51^{\circ} 30.345'$  شرقی به مدت ۲۴ ساعت صورت پذیرفت. مهم‌ترین دلیل انتخاب این نقطه این بود که علاوه بر نوفه محیطی داخل بندر، امکان ثبت نوفه کانال ورودی نیز وجود داشت. شکل (۲) موقعیت جغرافیایی مکان اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. در جدول (۱) نیز میزان تردد کشتی‌ها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تولید نوفه زیرآبی در بندر نوشهر ارائه شده است.



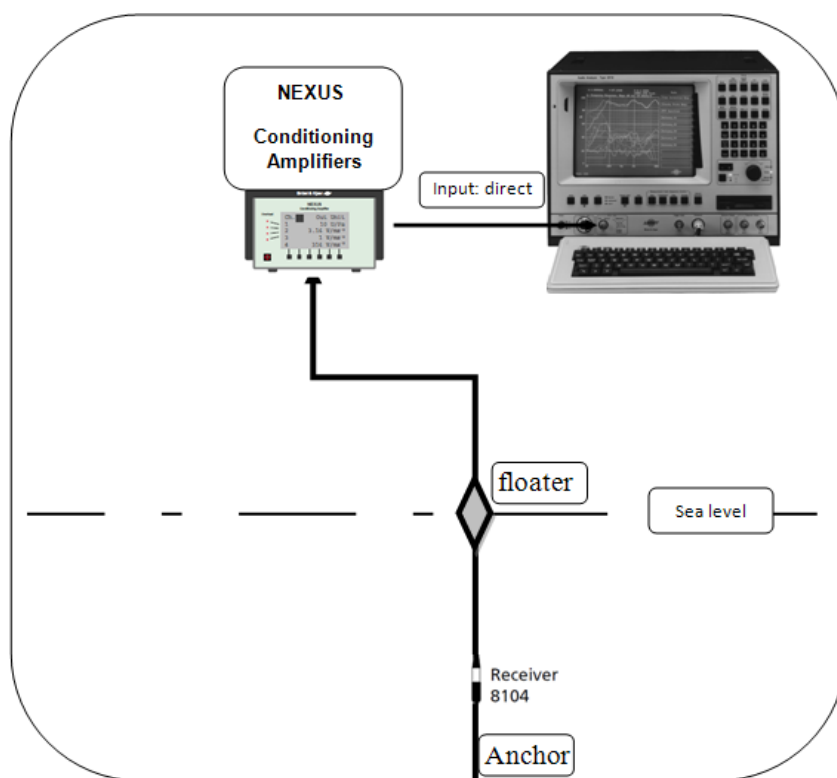
مختصات جغرافیایی محل اندازه‌گیریها:  $36^{\circ}$  و  $39^{\circ} 58.3'$  شمالی و  $51^{\circ}$  و  $30.345'$  شرقی

شکل ۲- موقعیت جغرافیایی محل انجام اندازه‌گیری نوفه محیطی زیر آب، بندر نوشهر، مردادماه ۱۳۸۹ در یک دوره ۲۴ ساعته

جدول ۱- آمار تردد کشتی‌ها در یازده سال اخیر در بندر نوشهر

ردیف	عنوان	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸
۱	تعداد کشتی‌های تجاری وارده (فروند)	۲۷۱	۴۲۸	۴۸۹	۳۹۸	۴۳۷	۳۰۱	۳۴۷	۳۰۰	۵۶۳	۳۶۹	۴۶۱
۲	تعداد کشتی‌های نفتی وارده (فروند)	۵۳	۴۰	۲۶	۹۸	۷۳	۹۸	۹۸	۱۲۱	۱۵۰	۱۰۲	۵۲
۳	کل تعداد کشتی‌های وارده (فروند)	۳۲۴	۴۶۸	۵۱۵	۴۹۶	۵۱۰	۳۹۹	۴۴۵	۴۲۱	۷۱۳	۴۷۱	۵۱۳

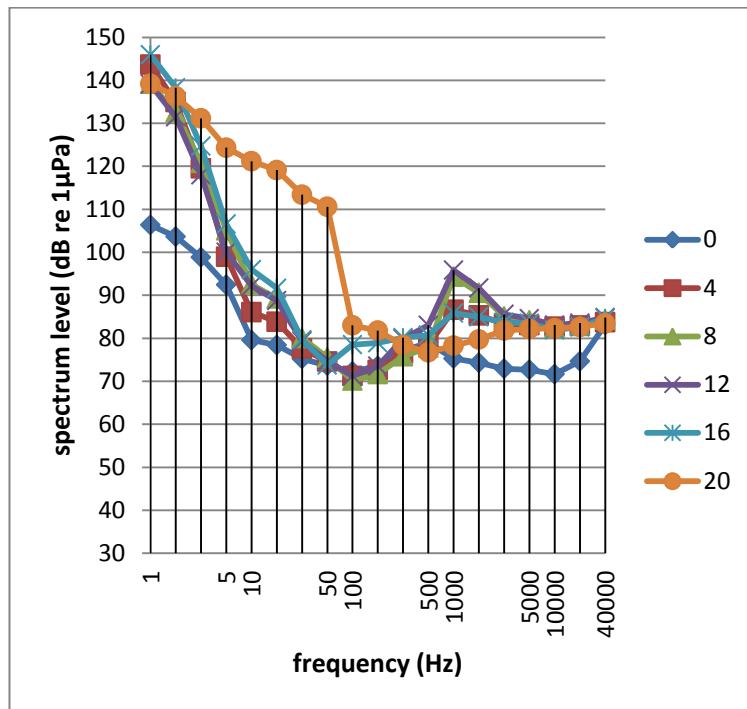
جهت ثابت نگه داشتن محل قرار گرفتن هیدروفون و جلوگیری از جابجایی آن که موجب به وجود آمدن گرادیان فشار و ایجاد خطا در اندازه گیری‌ها می‌شود، یک بویه شناور جهت تثبیت، در محل مورد نظر نصب و با استفاده از یک لنگر مناسب مهار شد. عملیات داده برداری با استفاده از هیدروفون در عمق ۲ متری انجام پذیرفت. تحلیل و پردازش داده‌ها توسط تحلیلگر صوتی ۲۰۱۲، در بازه فرکانسی یک هرتز تا ۴۰ کیلو هرتز و با استفاده از حالت تحلیل (Fast Fourier Transform) صورت گرفت. شکل (۳) نحوه اندازه گیری با تجهیزات را نمایش می‌دهد. اندازه گیری‌ها در بازه‌های زمانی دو ساعته صورت پذیرفت، اما با توجه به تردد شناورهای مختلف و به وجود آمدن نوفه انتشاری، طیف نوفه محیطی صوت زیرآبی بندر در بازه‌های زمانی ۴ ساعته ارائه شد. حالت FFT، تحلیل تبدیل فوریه در ۱۶۰۰ خط را امکان پذیر کرده و برای اندازه گیری نوفه بسیار مناسب می‌باشد. به منظور افزایش دقت، در هر بازه زمانی اندازه گیری، ۴ بار نمونه برداری انجام و با اعمال تنظیمات مورد نیاز دستگاه، کلیه مقادیر از طریق حداقل چهار بار معدل گیری استخراج شده است. از آنجایی که پردازش در پهنای باند یک هرتز انجام شده است، تراز نوفه محیطی بندر نوشهر بر اساس تراز طیف ارائه شده است.



شکل ۳- نحوه اندازه گیری با تجهیزات

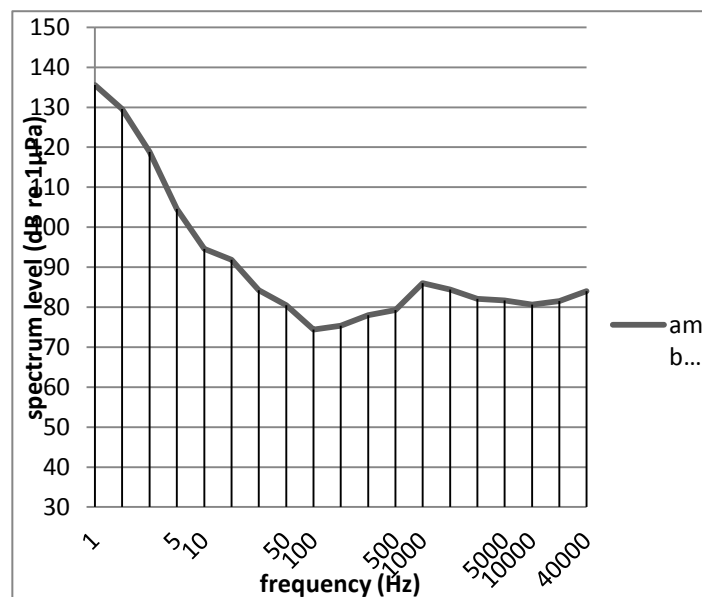
## نتایج

به منظور مقایسه نمودارهای استخراج شده، متوسط طیف نوفه محیطی به ترتیب و به تفکیک در ساعات ۰۰:۰۰، ۰۴:۰۰، ۰۸:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۶:۰۰ و ۲۰:۰۰ بدست آمد (شکل ۴).



شکل ۴- متوسط طیف نوفه محیطی اندازه گیری شده در بندر نوشهر، مردادماه ۱۳۸۹

مقدار مربوط به هر زمان، از طریق معدل گیری داده‌ها در دو ساعت قبل و دو ساعت بعد از آن زمان انجام شده است. هدف از ارائه در قالب بازه‌های زمانی ۴ ساعته، مشاهده چگونگی تغییرات نوفه محیطی در فرکانس‌های مورد نظر و نیز بررسی تغییرات میانگین نوفه دریافتی در کل بازه فرکانسی اندازه گیری شده با گذشت زمان است. با میانگین گیری از کل اندازه گیری‌ها، تراز طیف میانگین نوفه بندر محاسبه و در شکل (۵) ارائه و نهایتاً معدل تراز شدت صوت در دامنه فرکانسی محاسبه شد. تراز تعیین شده، معدل طی مدت ۲۴ ساعت بوده و میزان آن برابر dB  $90/90 \text{ re } 1 \mu\text{Pa}$  بدست آمد. در جدول (۲)، معدل تراز شدت صوت در دامنه فرکانسی برای بازه‌های زمانی چهار ساعته ارائه شد.

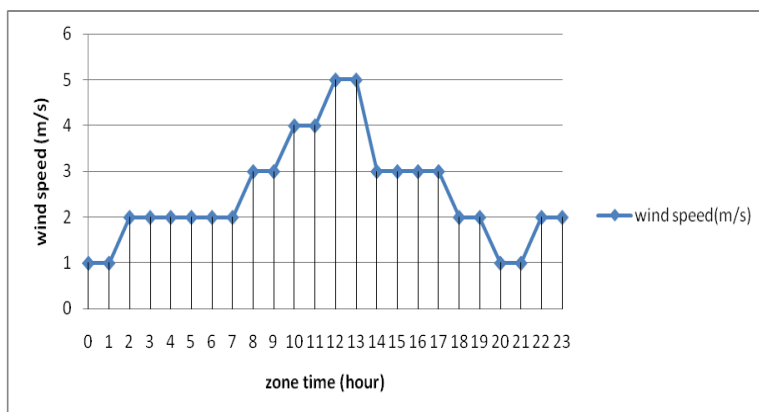


شکل ۵- معدل تراز طیف نوفه محیطی بندر نوشهر در مدت اندازه گیری ۲۴ ساعته، مردادماه ۱۳۸۹

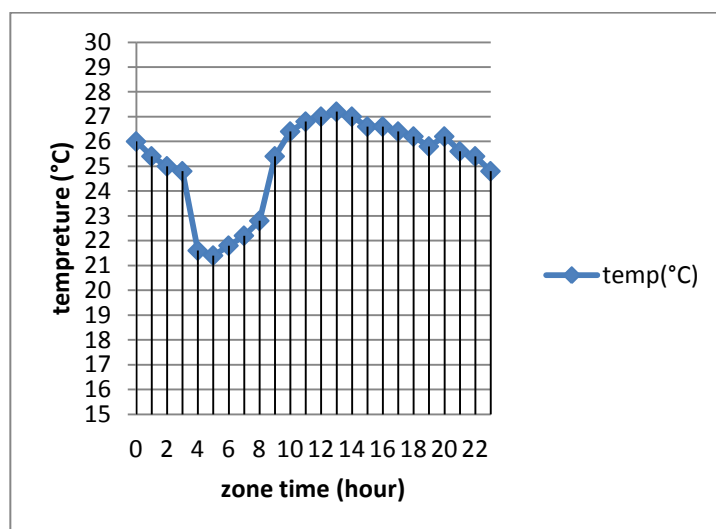
جدول ۲- معدل تراز شدت صوت در دامنه فرکانسی اندازه گیری شده در بندر نوشهر، مردادماه ۱۳۸۹

تراز فشار صوت میانگین (dB re 1 $\mu$ Pa)	بازه زمانی
۷۷۹۵۴/۸۰	۰۰:۰۰
۷۷۴۱۷/۸۹	۰۴:۰۰
۲۷۲۶۵/۹۱	۰۸:۰۰
۵۹۸۴۱/۹۱	۱۲:۰۰
۷۵۰۶۹/۹۲	۱۶:۰۰
۲۴۳۱۷/۹۹	۲۰:۰۰

از آنجایی که ناحیه مورد مطالعه، منطقه‌ای بندری محسوب می‌شود و با توجه به عوامل اصلی تولید نوفه محیطی، دو عامل وضعیت دریا و کشتیرانی به عنوان عوامل غالب در ایجاد نوفه محیطی در این بندر به حساب می‌آیند. سرعت باد و دمای هوا نیز به عنوان دو عامل مهم جوی در مدت اندازه گیری در نظر گرفته شدند که در شکل‌های (۶ و ۷)، تغییرات آنها نشان داده شده اند.



شکل ۶- سرعت باد در مدت اندازه گیری نوفه محیطی در بندر نوشهر، مردادماه ۱۳۸۹



شکل ۷- دمای هوا در مدت اندازه گیری نوفه محیطی در بندر نوشهر، مردادماه ۱۳۸۹

## بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده درخصوص طیف نوفه محیطی بندر نوشهر، می‌توان دریافت که در فرکانس‌های فروصوت، بیشترین تراز شدت صوت حاکم است. بر اساس تحقیقات Kibblewhite و Evans (1985) تراز حاکم بر این محدوده فرکانسی ناشی از کشند و امواج است اما با توجه به فقدان اثر کشند در منطقه مورد مطالعه، این محدوده طیفی را فقط می‌توان به امواج نسبت داد.

با افزایش فرکانس، ترازها کاهش می‌یابند. جدا از این که در هر دامنه فرکانسی، منابع تولید نوفه مختلف با تراز شدت صوت متفاوت به انتشار امواج می‌پردازند، نتیجه گرفته می‌شود که تضعیف امواج صوتی در آب با فرکانس رابطه مستقیم دارد، بدین معنا که با افزایش فرکانس، تضعیف این امواج بیشتر و برد نوفه‌ها در دریا کاهش می‌یابد و نوفه کمتری قابل دریافت است.

در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰ هرتز شاهد افزایش تراز هستیم و همانگونه که در شکل (۶) نشان داده شده است، تاثیر حالت دریا (بر اساس جدول beaufort) در این محدوده فرکانسی به چشم می‌خورد.

در محدوده فرکانسی فراصوت، شیب طیف مثبت و تراز با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد. تراز نوفه در این محدوده فرکانسی، ناشی از نوفه‌های دمایی است. در این مورد نیز مشاهده‌های انجام شده در بندر نوشهر با نتایج مشاهده در دیگر نقاط جهان تطابق دارد.

تراز طیف نوفه بندر نوشهر با زمان (بر حسب ساعت) سپری شده از روز رابطه مستقیم دارد. همان گونه که در جدول (۲) نشان داده شده است، هر چه از آغاز روز سپری می‌شود، تراز شدت صوت میانگین طیف نوفه محیطی بندر افزایش می‌یابد. این افزایش را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$SPL(00:00) < SPL(04:00) < SPL(08:00) < SPL(12:00)$$

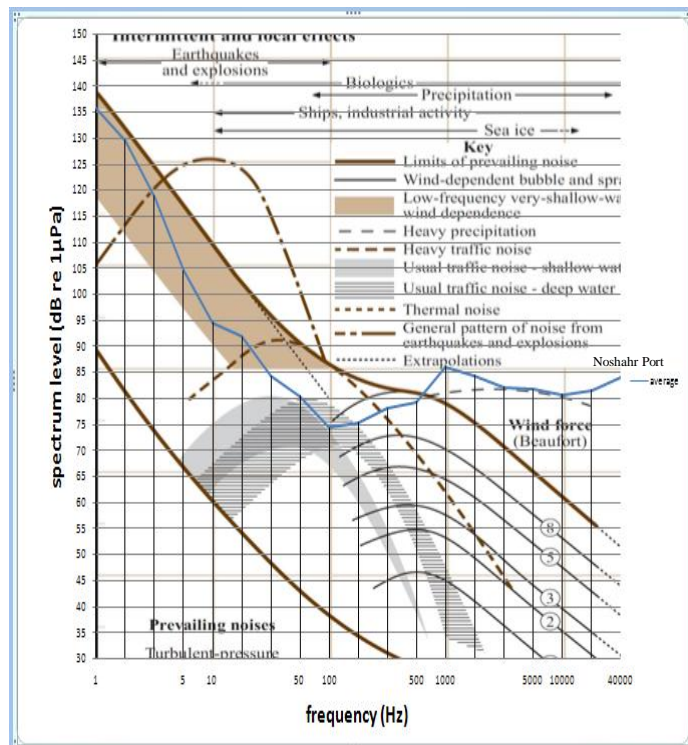
که در آن، SPL بیانگر تراز فشار صوت است. همان گونه که در شکل (۶) نشان داده شده است، از ساعت ۰۰:۰۰ تا ۱۲:۰۰ با گذشت زمان، سرعت باد افزایش یافته و افزایش سرعت باد باعث تغییر حالت دریا و افزایش تراز شدت صوت طیف نوفه محیطی می‌شود.

یکی از دلایل افزایش سرعت باد با گذشت زمان در طول روز مطالعه در بندر نوشهر می‌تواند ناشی از اقلیم خاص این منطقه باشد، در این منطقه به دلیل نزدیک بودن فاصله کوه و دریا، ایجاد گرادیان دما بین دریا و کوه (که با سپری شدن از روز اجتناب ناپذیر است و تغییرات دمایی آن در شکل (۷) نشان داده شده است) می‌تواند سبب تشکیل نسیم دریا به ساحل و یا ساحل به دریا گردد و لذا:

$$SPL(12:00) < SPL(16:00) < SPL(2000)$$

اگر چه مانند نتیجه بالا، این افزایش تراز شدت صوت را نمی‌توان به تنهایی به افزایش سرعت باد نسبت داد، اما این افزایش تراز را می‌توان به افزایش تراکم کشتیرانی و قایقرانی در منطقه نسبت داد. چرا که با توجه به حجم مسافر در این موقع سال و نزدیکی بندر نوشهر به مهم‌ترین اماکن تفریحی منطقه، با خنک تر شدن هوا، بر میزان قایقرانی‌های صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه افزوده شده و در نتیجه تراز شدت صوت نوفه دریافتی افزایش نشان می‌دهد. اثر افزایش حجم کشتیرانی بر اثر باد در این زمان از روز، غالب است.

در محدوده فرکانسی فروصوت، تراز طیف نوفه محیطی ارائه شده برای بندر نوشهر با اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در سایر نقاط بسیار کم عمق جهان تطابق دارد. این تطابق با مقایسه تراز نوفه بندر نوشهر با دیگر نقاط جهان در شکل (۸) نشان داده شده است.



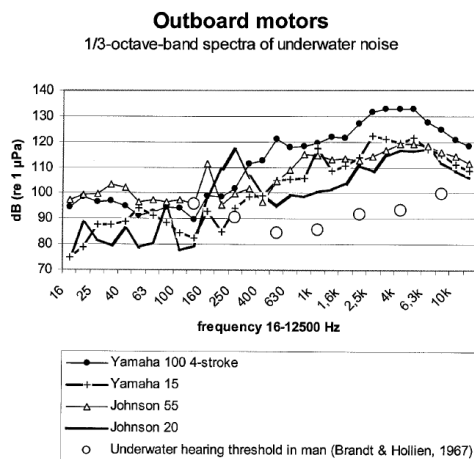
شکل ۸- مقایسه تراز نوفه دیگر مناطق دنیا (Wenz, 1962) با بندر نوشهر

در بازه فرکانسی مربوط به نوفه حاصله از تراکم کشتیرانی منطقه، (بازه فرکانسی 20Hz تا 200Hz) طیف مربوط به تراکم کشتیرانی سنگین حاکم است. هر چند که تعداد کشتی‌های ورودی و خروجی به این بندر نسبت به بنادر شاخص جنوبی کشور ناچیز است و این مهم در جدول (۱) به خوبی قابل مشاهده است، اما حجم بالای قایقرانی‌های صورت گرفته در بندر نوشهر سبب حاکم شدن شرایط تراکم کشتیرانی سنگین در بندر شده است.

در بازه فرکانسی مربوط به نوفه حاصل از وزش باد و حالت دریا (بازه فرکانسی 200-500Hz)، تراز نوفه ارائه شده به طور میانگین ۲۰ دسی بل از تراز آب‌های عمیق بالاتر است. قبلاً اشاره شد که افزایش تراز آب کم عمق نسبت به آب عمیق می‌بایست تا ۱۰ دسی بل باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت، این افزایش شدید، از عمق بسیار کم منطقه اندازه‌گیری ناشی شده است.

تراز ارائه شده برای فرکانس‌های بالاتر از 1000Hz با تراز مورد انتظار در این بازه فرکانسی تطابق ندارد. مهم‌ترین عامل در ایجاد عدم تطابق در این بازه، حجم بالای قایقرانی صورت گرفته در مناطق تفریحی نزدیک به منطقه مورد مطالعه است. موتور این قایق‌ها از مارک‌های Yamaha و یا Johnson است که نوفه حاصل از آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Seppänen & Nieminen, 2004). بر اساس تحقیقات این محققین، بیشتر انرژی تولید شده توسط این نوع قایق‌ها و در نتیجه تراز شدت صوت منتشره از آنها در بازه فرکانسی بیش تر از 1000Hz متمرکز شده است. در شکل ۹، طیف نوفه زیرآبی این نوع موتورها نشان داده شده است.





شکل ۹- نوفه حاصل از چند نوع موتور قایق (Seppänen & Nieminen, 2004)

### منابع

- Buckingham, M. J., Potter, J.R. & Epifanio, C.L. 1996. Seeing underwater with background noise. *Sci. Amer.*, 274 (2): 86-90.
- Etter, P. C. 2003. Underwater acoustic modeling and simulation. Spon Press. New York.
- Kibblewhite, A.C. & Evans, K. C. 1985. Wave-wave interactions, microseisms and infrasonic ambient noise in the ocean. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 78: 981-94.
- Kibblewhite, A.C., Shooter, J.A. & Watkins, S.L. 1976. Examination of attenuation at very low frequencies using the deep-water ambient noise field. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 60: 1040-7.
- Knudsen, V.O., Alford, R.S. & Emling, J.W. 1948. Underwater ambient noise. *J. Mar. Res.*, 7: 410-29.
- Scrimger, J.A., Evans, D.J., McBean, G.A., Farmer, D. M. & Kerman, B.R. 1987. Underwater noise due to rain, hail, and snow. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 81: 79-86.
- Seppänen, J. & Nieminen, M. 2004. Measurements and descriptions of underwater noise in Finland. *Geophysica*, 40(1-2): 23-38.
- Shaw, P.T., Watts, D.R. & Rossby, H.T. 1978. On the estimation of oceanic wind speed and stress from ambient noise measurements. *Deep-Sea Res.*, 25: 1225-33.
- Urlick, R.J. 1983. Principles of underwater sound. (3d Ed.). McGraw-Hill. New York.
- Vagle, S., Large, W.G. & Farmer, D.M. 1990. An evaluation of the WOTAN technique of inferring oceanic winds from underwater ambient sound. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 7: 576-95.
- Wenz, G. M. 1962. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources. *J. Acoust. Soc. Am.*, 34: 1936-1956.
- Zedel, L., Gordon, L. & Osterhus, S. 1999. Ocean ambient sound instrument system: acoustic estimation of wind speed and direction from a subsurface package. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 16: 1118-26.