بررسی تأثیرات افزایش تعداد پره و استفاده از داکت در کاهش نوفه صوتی غیر-کاواک‌زا پروانه‌های مغروق

محمد امین فیضی چکاب[1]، پرویز قدیمی*[1]، رحیم زمانیان[2]، هاشم نوروزی[1]

۱. دانشکده مهندسی دریا دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲. واحد بین‌الملل دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

یکی از ضعف‌های استفاده از سامانه رانش پروانه در شناورها، نوفه (نویز) صوتی نسبتاً زیادی است که در حین عملکرد آن تولید و به محیط اطراف انتشار می‌یابد. روش‌های متعددی برای کاهش این نوفه وجود دارد. که هر یک باعث کاهش بخشی از نوفه پروانه می‌شود. یکی از روش‌های معمول افزایش تعداد پره و دیگری استفاده از داکت حول پروانه است. در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار نوشته شده آکوستیک پایتون برای تحلیل صوتی در کنار تحلیل‌های هیدرودینامیکی حاصل از نرم‌افزارانسیس-سی‌اِف‌اِیکس به بررسی میزان اثرگذاری هر یک از این روش‌ها برای یک نمونه پروانهٔ سری B پرداخته می‌شود. ملاحظه می‌شود که استفاده از داکت می‌تواند از انتشار بیش از ۲۰ درصدِ تراز فشار صوت نوفه پروانه جلوگیری نماید. از طرف دیگر، افزایش تعداد پره از پنج به هفت پره باعث کاهشِ بیش از پنج درصدی تولید نوفه می‌شود. براساس نتایج حاصل از اعمال این دو روش و به دلیل آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر بودن روش استفاده از داکت حول پروانه، نتیجه گرفته می‌شود که این روش اقتصادی و مناسب شناورهای حاضر است.

کلید واژه‌ها: آوصوتیات (هیدروآکوستیک)، پروانه‌ی مغروق، کاهش نوفه (نویز)، داکت، تعداد پره

۱. مقدمه

با وجود پیشرفت گستردهٔ سامانه‌های رانش دریایی و تنوع آن‌ها، سامانه رانش پروانه‌ایی در شناورها هم‌چنان پرکاربردترین سامانه رانش دریایی به شمار می‌رود. از دلایل اصلی این محبوبیت، سادگی نسبی طراحی و ساخت این سامانه رانش، قابلیت استفاده در توان‌ها و کاربردهای مختلف و بازدهی بالای آن در شرایط کارکردی گوناگون است. اما، به ویژه در کاربردهای دفاعی، نوفه (نویز)[1] صوتی این سامانه رانش نقطه ضعف اصلی آن می‌باشد.

با توجّه به اینکه این سامانه رانش، در کشورها بیش‌ترین کاربرد را دارد، لازم است نوفه صوتی پروانه و روش‌های کاهش آن در طراحی و ساخت مدّ نظر قرار گیرند.

روش‌های مختلفی برای کاهش نوفه پروانه در محافل علمی مختلف پیشنهاد شده‌اند. از آن جمله می‌توان به افزایش زاویه‌ی اسکیو[2]، افزایش تعداد پره، افزایش سطح پره‌ها، توزیع مناسب گام، استفاده از "نوک منقبض‌شده و بارگذاری‌شده" موسوم به سی‌اِل‌تی[3] در نوک پروانه، استفاده از کاپل[4]، به کار گرفتن پی‌بی‌سی‌اِف[5] و پی‌سی‌تی[6] روی هاب، انواع داکت روی بدنه، دور پروانه و سامانه‌های یکنواخت کننده جریان ورودی به پروانه اشاره نمود.

پژوهشگران مختلفی در این زمینه فعالیت داشته‌اند. از آن میان می‌توان به شارما [۱] اشاره نمود که در سال ۱۹۹۰ به بهینه‌سازی الگوهای پروانه مغروق از نظر صدا پرداخته است. این مطالعه بر روی پنج الگوی پروانه صورت گرفت که سه مورد الگوهای پایه و دو مورد دیگر الگوهای بهینه شده بودند.

هم‌چنین آزمایش دیگری توسط اندرسون و همکاران [۲] بر روی یک پروانه نوع کاپل انجام شده است. در

* نویسنده پاسخگو: pghadimi@aut.ac.ir

[1] Noise

[2] Skew

[3] CLT; Contracted and Loaded Tip

[4] Kappel

[5] PBCF; Propeller Boss Cap Fins

[6] PCT; Propeller Cap Turbine

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]

[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]

این آزمایش دو پروانه هفت و هشت پره‌ای مورد مطالعه قرار گرفتند. با افزایش پره‌ها از هفت به هشت، حدود ۱۵ دسی‌بل از نوفه و ۸۰ درصد از نوسانات پیش‌رانش (تراست)[1] کاسته شد.

هم‌چنین می‌توان به فعالیت‌های کاستلینی و سانتولینی [۳]، کلودیو تستا [۴]، دی‌فلیس و همکاران [۵] و نیز کوانکون و همکاران [۶] اشاره نمود که روش‌های عددی مناسب برای پیش‌بینی نوفه پروانه‌های مغروق ارایه داده‌اند.

کئولسو و همکاران [۷] نیز در سال ۲۰۰۹ با استفاده از آزمایش در تونل کاواک‌زایی (کاویتاسیون)، بر روی چشمه‌های تولید نوفه پروانه، مطالعاتی را به انجام رساندند.

هم‌چنین در زمینهٔ نوفه ارتعاشی پروانه، نیلسون [۸] در سال ۱۹۸۰ به بررسی آزمایشگاهی ارتعاش القائی از طرف پروانه روی بدنه شناور پرداخت. کاستلینی و سانتولینی [۳] در سال ۱۹۹۸ با لرزه‌نگار لیزری، ارتعاش پره‌های پروانه دریایی را اندازه گرفتند.

از طرف دیگر در ادامهٔ توسعهٔ روش‌های عددی در پیش‌بینی نوفه پروانه، سئول و همکاران [۹] در سال ۲۰۰۵ یک روش عددی که می‌توان با آن نوفه پروانه را پیش‌بینی کرد، گسترش داده‌اند. این روش عددی بر روی حالات بدون‌کاواک‌زایی و کاواک‌زایی صفحه‌ای، مطالعه شده است. اساس این روش عددی بر پایه روش پانل[2] است.

با توجّه به تجربه‌ها و آزمایش‌هایی که در این زمینه انجام گرفته‌اند، به نظر می‌رسد که معمول‌ترین روش‌ها برای کاهش نوفه تولیدی و جلوگیری از انتشار نوفه پروانه‌های مغروق، افزایش تعداد پره و استفاده از داکت حول پروانه باشد. در همین راستا، در مقاله حاضر به بررسی میزان اثرگذاری این شیوه‌ها پرداخته می‌شود. در ادامه، ابتدا نوفه صوتی یک پروانه‌ی نمونه معرفی و تشریح می‌گردد. سپس، دو روش فوق‌الذکر به طور مجزا روی پروانه نمونه اعمال شده و میزان کاهش نوفه حاصل از آن محاسبه می‌گردد.

[1] Thrust
[2] Panel Method

۲. مواد و روش‌ها

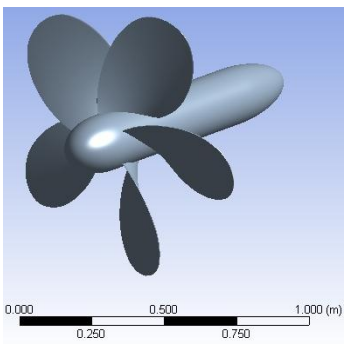
۲-۱. تحلیل آوصوتی (هیدروآکوستیکی) پروانه‌ی مغروق

برای تحلیل هیدرودینامیکی پروانه، از نرم‌افزار قدرتمند اَنسیس- سی‌اِف‌اِیکس[3] استفاده شده است. هم‌چنین، برای معادلات کیرشهف[4] از نرم‌افزار تهیه شده توسط مؤلفین (به زبان برنامه‌نویسی پایتون) بهره برده شده است. جزئیات روش کیرشهف، الگوریتم نرم‌افزار مربوطه و نحوه عملکرد آن در مقاله دیگری ارایه شده‌اند [۱۰].

میدان آوصوتی (هیدروآکوستیکی)[5] پروانه‌ای که برای بررسی تأثیر روش‌های مختلف کاهش نوفه (نویز) مورد استفاده قرار گرفته است، قبلاً توسط مؤلفین تحلیل شده است [۱۰]. در این تحقیق، روش‌های کاهش نوفه روی این پروانه اعمال شده و تأثیر هر یک مورد بررسی قرار می‌گیرد. پروانهٔ سری B مورد نظر دارای مشخصات مطابق جدول ۱ می‌باشد و هندسه آن در شکل ۱ ارایه شده است.

جدول ۱ مشخصات پروانه مورد بررسی.

اسکیو	استاندارد سری B
ریک	۰
قطر هاب (متر)	۰٫۲
ایی‌اِی‌آر	۰٫۷
گام	۱
تعداد پره	۵
قطر (متر)	۱

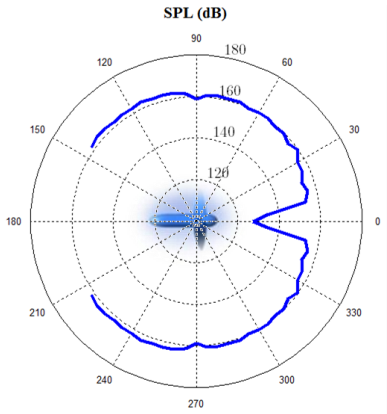


شکل ۱ هندسه پروانه نمونه بدون اعمال روش‌های کاهش نوفه.

[3] ANSYS-CFX
[4] Kirchhoff Surface
[5] Hydroacoustic

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]

با توجه به اینکه هدف کاهش نوفه این پروانه است، ابتدا در این بخش مقدار نوفه تولیدی این پروانه ارایه می‌شود. در شکل ۲، میزان انتشار صدا در جهات مختلف در فاصلهٔ پنج متری از پروانه ترسیم شده است.



شکل ۲ تراز فشار صدای اِس‌پی‌اِل بدست آمده در زوایای مختلف اطراف پروانه در مختصات قطبی.

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نوفه این پروانه در محدودهٔ ۱۶۰ دسی‌بل قرار دارد. کم‌ترین مقدار نوفه در پایین‌دست پروانه و جلوی هاب قرار دارد (۱۳۰ دسی‌بل). این مقدار به سرعت در زاویه حدود ۱۵ درجه به ۱۵۵ دسی‌بل رسیده و به کندی افزایش می‌یابد و در ۱۴۵ درجه به ۱۶۴ دسی‌بل می‌رسد.

پس از تحلیل نوفه‌ی پروانه‌ی نمونه، در این بخش دو روش کاهش نوفه بر روی این پروانه اعمال می‌گردد و تحلیل آوصوتی (هیدروآکوستیکی) آن به انجام می‌رسد.

ابتدا، افزایش تعداد پره از پنج به هفت عدد مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس تأثیر داکت بر کاهش تولید نوفه و انتشار آن بررسی می‌شود.

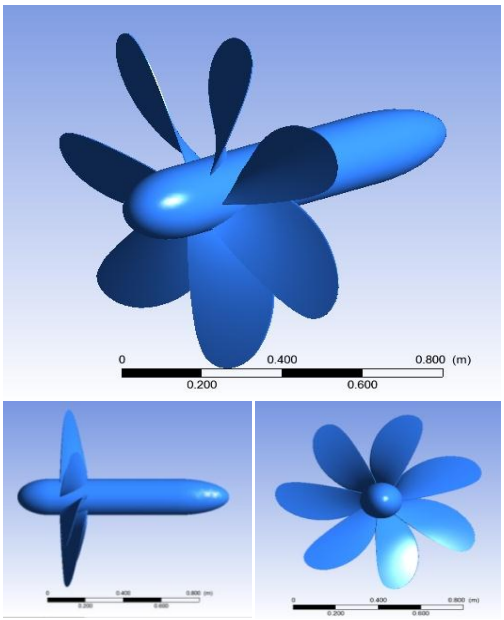
۳. نتایج

۳-۱. بررسی اثر افزایش تعداد پره

در این بخش، همان پروانه سری B با هفت پره طراحی شده و مورد مطالعه قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که پره‌ها می‌بایست به گونه‌ای افزایش یابند که مقدار پیش‌رانش (تراست) ثابت بماند. برای این منظور، می‌توان از کاهش "نسبت سطح گسترش‌داده" موسوم به ایی‌اِی‌آر[1] یا کاهش گام پروانه کمک گرفت. محاسبات برای این منظور با استفاده از نمودارهای هیدرودینامیکی سری B انجام می‌شود. پس از محاسبات مختلف، ملاحظه می‌شود که با کاهش حدود ۵ درصدی گام، مقدار پیش‌رانش پروانه هفت پره برابر پیش‌رانش پروانه پنج پره می‌شود. لکن کاهش ایی‌اِی‌آر نیاز به حداقل کاهش ۵۰ درصدی دارد. بنابراین مشخصات پروانه‌ی مذکور مطابق با جدول ۲ ارایه می‌گردد.

جدول ۲ مشخصات پروانه هفت پره.

اسکیو	استاندارد سری B
ریک	۰
قطر هاب (متر)	۰/۲
ایی‌اِی‌آر	۰/۷
گام	۰/۹۴۵
تعداد پره	۷
قطر (متر)	۱



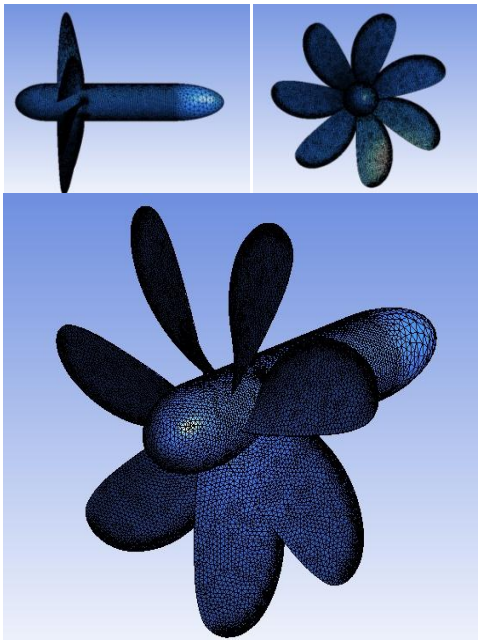
شکل ۳ هندسه‌ی پروانه‌ی هفت پره‌ی معادل از نظر هیدرودینامیکی که از سه نما نشان داده شده است.

[1] EAR; Expanded Area Ratio

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]

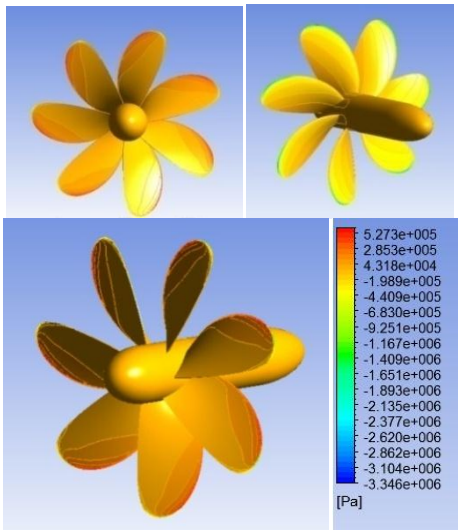
هندسه‌ی پروانه با هفت پره در شکل ۳ نشان داده شده است.

شبکه‌بندی اعمال‌شده روی این پروانه در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۴ شبکه‌بندی پروانه هفت پره از سه نما نشان داده شده است.

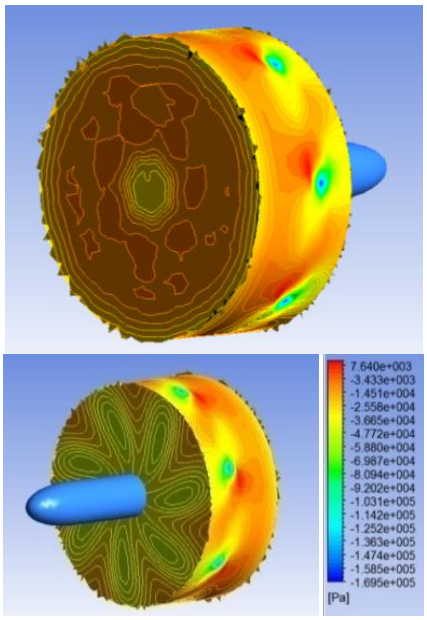
این پروانه در همان شرایط فیزیکی مورد تحلیل قرار گرفته و توزیع فشار آن در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل۵ توزیع فشار روی پروانه هفت پره از سه نما نشان داده شده است.

۳-۲. تحلیل آوصوتی (هیدروآکوستیکی) پروانه‌ی هفت پره

پس از حصول توزیع فشار پروانه و اطراف آن، توزیع فشار روی سطح کیرشهف استخراج می‌شود (شکل ۶). سطح کیرشهف، سطحی است که چشمه‌های صوتی روی آن در نظر گرفته شده‌اند. نوفه (نویز) پروانه با حل معادلات ناویه- استوکس از پروانه به این سطح رسیده و پس از آن با استفاده از معادلات کیرشهف به دور دست انتشار می‌یابد [۱۰].



شکل ۶ توزیع فشار روی سطح کیرشهف پروانه هفت‌پره از دو نمای روبرو و پشت نمایش داده شده است.

برای بررسی اعتبار حل، می‌توان از مقدار نیروی پیش‌رانش (تراست) بدست آمده، استفاده نمود. پس از مقایسه نیروی پیش‌رانش حاصله که بالغ بر ۹۰۹۴۴٫۶ نیوتن می‌باشد، با پیش‌رانش مورد نظر یعنی ۹۹۵۷۹٫۰۴ نیوتن که از نمودارهای سری B استخراج شده است، ملاحظه مقدار خطا در این تحلیل ۸٫۶۷۱ درصد بوده که خطای قابل قبولی است.

اکنون، با استفاده از این توزیع فشار، تحلیل صوتی پروانه انجام می‌شود. پس از محاسبهٔ تراز فشار صدا در هر لحظه، برای دستیابی به مقایسه بهتر، می‌بایست از سطح فشار صدا[1] حاصل از مقدار ریشه مربع میانگین[2]

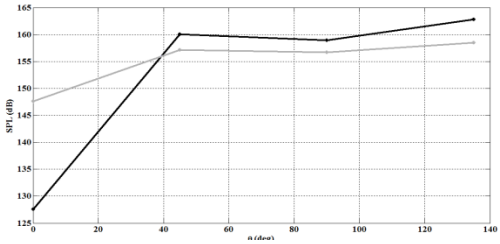
[1] SPL; Sound Pressure Level
[2] RMS; Root Mean Square

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]

مجله انجمن مهندسی صوتیات ایران/سال اول/شماره ۲/ بهار و تابستان ۱۳۹۳

فشار صدا استفاده نمود. به این صورت که برای محدوده زمانی مورد نظر، مقدار ریشه مربع میانگین فشار صدا محاسبه می‌شود و با استفاده از آن برای علامت (سیگنال) صوتی دریافتی، تنها یک تراز فشار صدا حاصل می‌گردد که نمایان‌گر رفتار کلی علامت صوتی در آن بازه زمانی است.

در شکل ۷، تراز فشار صدا محاسبه شده در پروانه هفت‌پره با سطح فشار صدای پروانه پنج پره مقایسه شده است.



شکل ۷ ریشه مربع میانگین تراز فشار صدای پروانه‌ی هفت پره (خاکستری) در مقایسه با پروانه‌ی پنج پره (سیاه).

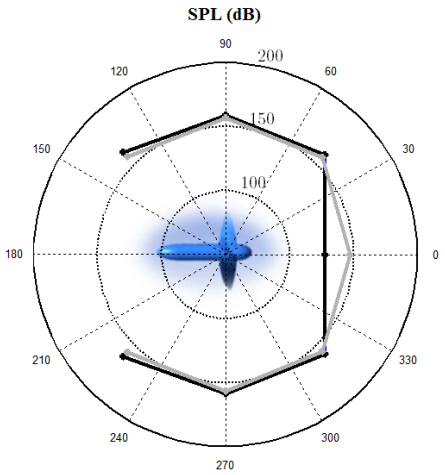
همان‌گونه که انتظار می‌رفت، افزایش تعداد پره موجب کاهش نوفه (نوفه) در حدود ۵ دسی‌بل شده است، البته به جز ناظر جلوی پروانه که افزایش نوفه را تجربه نموده است. دلیل این امر این است که افزایش تعداد پره باعث یکنواخت‌تر شدن توزیع فشار جلوی پروانه می‌شود و این امر به نوبه خود باعث می‌گردد که توزیع تراز فشار صدا در زوایای مختلف تقریباً در یک محدوده قرار گیرد. بنابراین، در برخی زوایا کاهش نوفه و در زوایای دیگر افزایش نوفه ملاحظه می‌شود.

لذا برای دستیابی به کاهش نوفه در تمامی جهات، می‌بایست از ترکیب این روش با روش‌های دیگر استفاده نمود. برای نمایش بهتر کاهش و افزایش نوفه در زوایای مختلف، نمودار قطبی (شکل ۸) ارایه می‌گردد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، افزایش تعداد پره باعث یکنواخت‌تر شدن توزیع تراز فشار صدا در جهات مختلف می‌گردد. هم‌چنین حدود ۵ درصد کاهش تراز فشار صدا ملاحظه گردید.

۳-۳. بررسی افزایش داکت

روش دیگری که استفاده بسیار زیادی به ویژه در صنایع دفاعی دارد، استفاده از داکت می‌باشد. به علاوه داکت می‌تواند موجب اصلاح جریان حول پروانه شده و از وقوع کاواک‌زایی (کاویتاسیون) و نوسانات پیش‌رانش (تراست) جلوگیری نماید. در نتیجه، باعث کاهش نوفه (نویز) تولیدی می‌شود و از انتشار نوفه‌ی تولیدی نیز جلوگیری می‌نماید. البته کاربرد اصلی داکت‌ها کاهش نوفه نیست، اما کاهش انتشار نوفه تولیدی از اثرات مهم آن‌ها است.



شکل ۸ ریشه مربع میانگین تراز فشار صدای پروانه هفت‌پره در مقایسه با پنج پره در زوایای مختلف (مختصات قطبی).

داکت‌ها انواع مختلفی داشته و دارای پارامترهای طراحی مختلفی می‌باشند. در اینجا، با استفاده از رهنمون‌های کارلتون [۱۱] یک نمونه داکت برای پروانه‌ی سری B پنج پره طراحی و حول آن قرار داده می‌شود. مقطع و هندسه داکت در کنار پروانه در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارایه شده‌اند.

این هندسه با همان شرایط قبلی الگوسازی و شبکه‌بندی شده است. شبکه مورد استفاده روی داکت و پروانه مطابق با شکل ۱۱ می‌باشد.

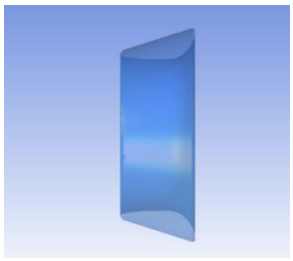
در ادامه، با استفاده از شرایط فیزیکی، قبل این پروانه به همراه داکت آن مورد تحلیل قرار می‌گیرند. پس از حل و حصول نتایج، توزیع فشار روی پروانه مطابق با شکل ۱۲ ارایه می‌شود.

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]

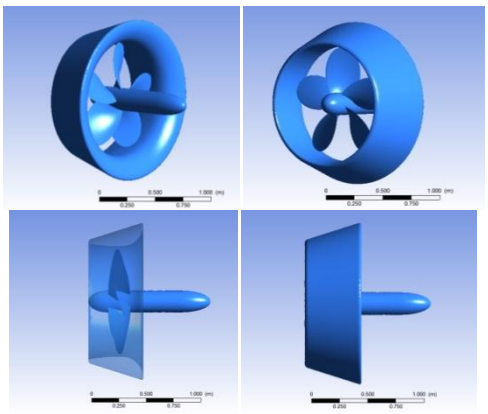
[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]

با محاسبه نیروها بر روی پروانه، پیش‌رانش به دست آمده برای پروانه ۵۴۷۳۶٫۷ نیوتن حاصل شد. این مقدار حدود ۴۰ درصد نسبت به پیش‌رانش همین پروانه در حالت بدون داکت کم‌تر است. اما باید در نظر داشت که هنگام قرار دادن داکت، بخشی از پیش‌رانش حاصل از خود داکت خواهد بود.

توزیع فشار بر روی داکت در شکل ۱۳ ارایه شده است.



شکل ۹ مقطع داکت مورد استفاده.

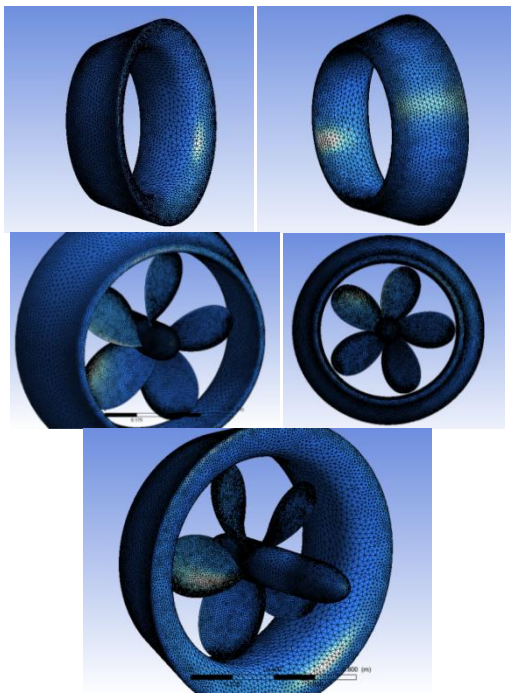


شکل ۱۰ هندسه داکت حول پروانه.

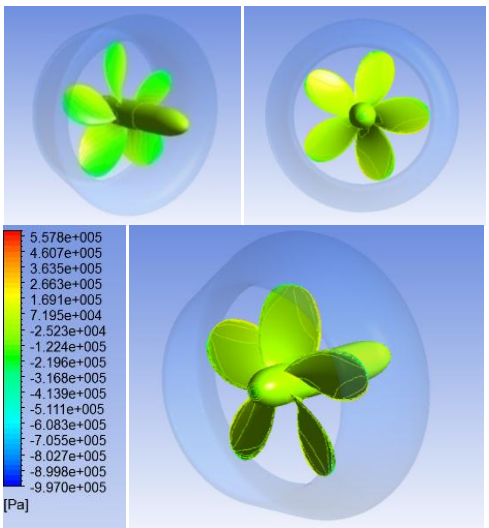
با معلوم بودن توزیع سرعت، نیروی روی داکت محاسبه شده و ملاحظه می‌گردد که پیش‌رانش تولید شده توسط داکت برابر با ۴۰۷۰۵٫۴ نیوتن است. لذا جمع کل پیش‌رانش تولید شده توسط پروانه و داکت برابر با ۹۵۴۴۲٫۱ نیوتن محاسبه می‌شود که تنها ۴٫۲ درصد کم‌تر از پیش‌رانش همین پروانه بدون داکت است. بنابراین می‌توان این دو سامانه رانش را معادل هم در نظر گرفت و از نظر آوصوتی (هیدروآکوستیکی) مورد مقایسه قرار داد.

۳-۳. تحلیل آوصوتی (هیدروآکوستیکی) پروانه با داکت

برای تحلیل آوصوتی (هیدروآکوستیکی) این سامانه رانش، ابتدا یک سطح کیرشهف حول داکت و پروانه انتخاب شده و توزیع فشار روی آن استخراج می‌شود. توزیع فشار مورد نظر در شکل ۱۴ ملاحظه می‌شود. اکنون، با استفاده از این توزیع فشار و نرم‌افزار (ماکروی) تهیه شده، می‌توان به محاسبه نوفه‌ی انتشاری از این مجموعه پرداخت و تراز فشار صدا را در مکان‌های مورد نظر محاسبه کرد.

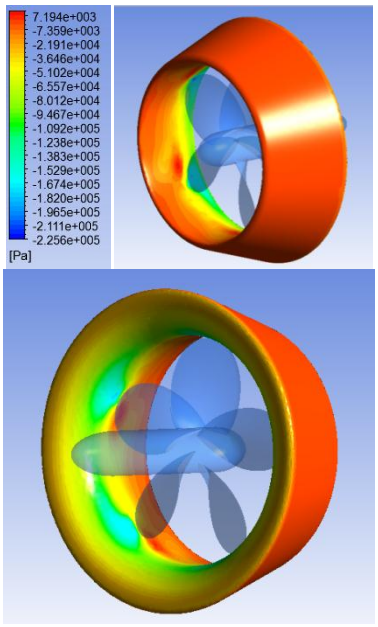


شکل ۱۱ شبکه‌بندی داکت و پروانه از نماهای مختلف.

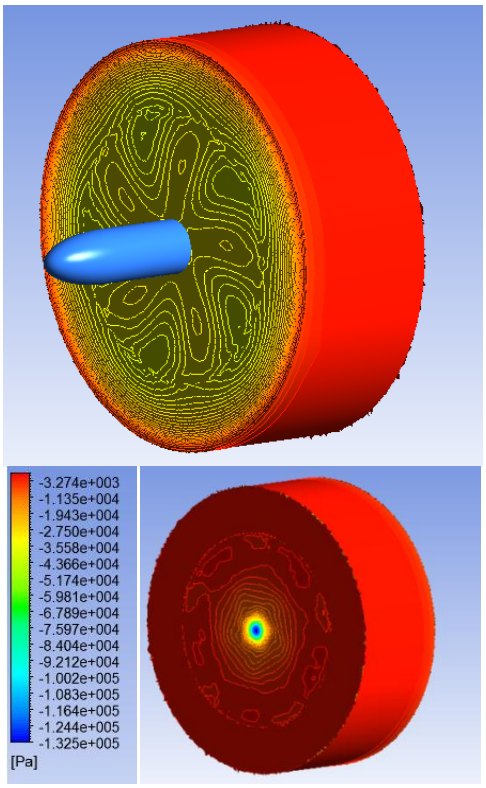


شکل ۱۲ توزیع فشار روی پروانه از نماهای مختلف.

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]

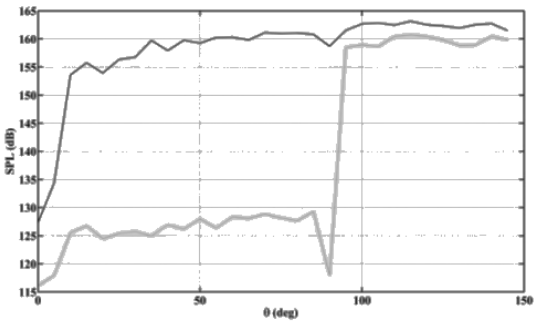


شکل ۱۳ توزیع فشار روی داکت.



شکل ۱۴ سطح کیرشهف حول داکت و پروانه و توزیع فشار روی آن از دو نمای مشاهده.

برای ایجاد درک بهتر از مقادیر افزایش و کاهش نوفه صوتی و مشاهده راستای اثرگذاری داکت روی نوفه پروانه، از کمیت اِس‌پی‌اِل بر حسب آرام‌اِس (ریشه میانگین مربع)، SPL_{rms}، استفاده شده است در شکل ۱۵، تراز فشار صدای پروانه با داکت و بدون داکت مقایسه می‌شود.



شکل ۱۵ مقایسه ریشه مربع میانگین تراز فشار صدای پروانه داکت‌دار (خاکستری) با پروانه بدون داکت (مشکی) در زوایای مختلف.

ملاحظه می‌شود که نوفه در پشت پروانه (زوایای ۴۵ و ۹۰ درجه) کاهش شدیدی (در حدود ۲۰ الی ۳۰ دسی‌بل) داشته است. اما در جلوی پروانه (زاویهٔ ۱۳۵ درجه) این کاهش در حدود ۶ دسی‌بل بوده است.

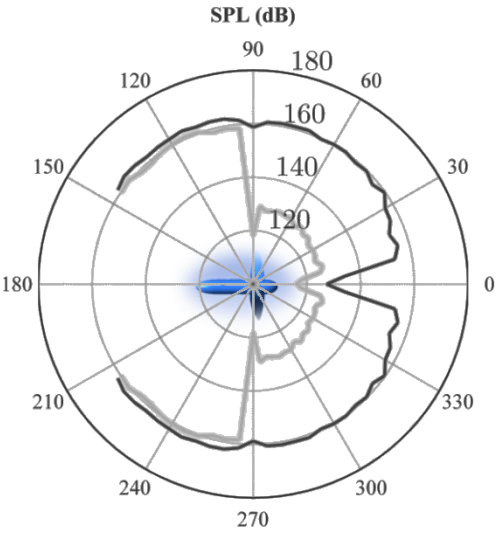
به وضوح ملاحظه می‌شود که نوفه‌ی منتشره در پشت پروانه به شدت کاهش یافته است. با توجه به اینکه شناور همواره در جلوی پروانه قرار دارد، می‌توان گفت که معمولاً نوفه‌ای که از اهمیت بالایی برخوردار است، نوفه‌ای است که از اطراف و پشت پروانه منتشر می‌شود و صدای منتشره به سمت شناور معمولاً از اهمیت کم‌تری برخوردار است.

برای درک بهتر جهت انتشار، نوفه منتشره در جهات مختلف را مانند قبل در یک نمودار قطبی در کنار حالت‌های دیگر قرار داده و داکت از نظر راستای انتشار نوفه با دیگر حالت‌ها، مقایسه می‌شود (شکل ۱۶).

مشاهده می‌شود که نوفه‌ی منتشره از پروانه با داکت حدود ۲۰ درصد کم‌تر از نوفه منتشره از پروانه بدون داکت است. لازم به ذکر است که در این تحقیق تلاش نشده است که بهینه‌ترین حالت‌های هریک از روش‌ها مورد استفاده قرار گیرند، بلکه هدف ارایه روش تحلیلی برای اعمال شرایط مختلف بوده و تعیین

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]

میزان نسبی تأثیر و سهل‌الوصول بودن هریک از آن‌هاست. با توجه به این موضوع ملاحظه می‌گردد که استفاده از داکت ساده‌ترین و زود بازده‌ترین روش برای کاهش نوفه منتشره از پروانه‌های دریایی است.



شکل ۱۶ مقایسه ریشه مربع میانگین سطح فشار صدای پروانه داکت‌دار (خاکستری) با پروانه بدون داکت (مشکی) برای زوایای مختلف در مختصات قطبی.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پس از بررسی تاریخچه‌ی موضوع کاهش نوفه صوتی پروانه‌های دریایی، میزان اثرگذاری دو روش اصلی برای کاهش نوفه پروانه‌های دریایی مورد بررسی قرار گرفتند. روش اول افزایش تعداد پره‌های پروانه و روش دوم اضافه نمودن داکت حول آن بوده است.

برای تعیین میزان اثرگذاری هریک از آن‌ها، این روش‌ها بر روی یک پروانه نمونه سری B پنج پره اعمال شده‌اند که توسط مؤلفین در مقاله‌ی دیگری در همین نشریه ارایه شده است [۱۰].

نتایج به دست آمده حاکی از آن است که افزایش تعداد پره از پنج به هفت، می‌تواند باعث کاهش حدود ۵ درصدی تراز فشار صدای نوفه‌ی پروانه شود. البته، استفاده از داکت نیز می‌تواند حدود ۲۰ درصد کاهش نوفه در پشت پروانه و حدود ۵ درصد کاهش نوفه در جلوی پروانه را به همراه داشته باشد.

با توجه به نتایج حاصل از این تحلیل‌ها و اینکه نصب داکت روی شناورهای موجود بسیار ساده‌تر و کم خرج‌تر از طراحی و ساخت پروانه‌ی بهینه و تعویض آن است، به نظر می‌رسد، استفاده از داکت می‌بایست به عنوان شیوه ساده‌تر و کم خرج، مد نظر صنایع دریایی کشورها قرار گیرد.

۵. فهرست منابع

[1] S.D. Sharma, K. Mani, V.H. Arakeri "Cavitation noise studies on marine propellers," Journal of Sound and Vibration, vol. 138, pp. 255-283, 1990.
[2] P. Andersen, J.P. Blasques, C. Berggreen, "Hydro-elastic analysis and optimization of a composite marine propeller," Marine Structures, vol. 23, pp. 22-38, 2010.
[3] P. Castellini, C. Santolini, "Vibration measurements on blades of a naval propeller rotating in water with tracking laser vibrometer," Measurement, vol. 24, pp. 43-54, 1998.
[4] C. Testa, "Acoustic formulations for aeronautical and naval rotorcraft noise prediction based on the Ffowcs Williams and Hawkings Equation," PhD thesis, Delft University of Technology, 2008.
[5] F. Di Felice, L. Greco, F. Salvatore, "Validation of a quasi-potential flow model for the analysis of marine propellers wake," 25th Symposium on Naval Hydrodynamics, Canada, Newfoundland, 2004.
[6] P. Kwangkun, S. Hanshin, C. Wooyoung, L. Soogab, "Numerical prediction of tip vortex cavitation behavior and noise considering nuclei size and distribution," Applied Acoustics, vol. 70, pp. 674-680, 2009.
[7] P. Cheolsoo, S. Hanshin, K. Kwangsoo, S. Woojae, "A study on propeller noise source localization in a cavitation tunnel," Ocean Engineering, vol. 36, pp. 754-762, 2009.
[8] A.C. Nilsson, "Propeller induced hull vibration," Journal of Sound and Vibration, vol. 69, pp. 539-557, 1980.
[9] H. Seol, P. Kwangkun, W.O.O. Cho, S.U. Lee, "Numerical prediction of tip vortex cavitation behavior and noise considering nuclei size and distribution," Applied Acoustics, vol. 70, pp. 674-680, 1990.
[10] S. Kermani, P. Ghadimi, R. Zamanian, M.A. Feizi Chekab, "Numerical analysis of acoustic noise propagation from a submerged marine propeller," Journal of Acoustical Engineering Society of Iran, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2013, (In Persian).
[11] J. Carlton, "Marine propellers and propulsion," Elsevier, 2nd, 2007.

[Downloaded from joasi.ir on 2026-06-19]
[DOR: 20.1001.1.23455748.1393.2.1.3.6]