Journal of Acoustical Engineering Society of Iran, Vol. 11, No. 2, 2024

(Research Article) Acoustic analysis of behavior in marine propellers-A numerical study

H. Lakzayi, Z. Pouransari*

Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology

Received: 2023/07/04, Accepted: 2023/09/27

Abstract

The emitted sound from ships is one of the most important sources of noise in the ocean, and the propeller sound is the main component of this sound. In this study, the numerical investigation of the functional sound level of a marine propeller has been carried out based on Computational Fluid Dynamics (CFD) and Fox Williams-Hawkings (FW-H) acoustic Analogy. In this research, in order to validate the solution method, first the fluid field around the DTMB4119 propeller was simulated, and then its sound pressure level compared with experimental results. Then the new propeller is numerically investigated. The acoustic performance of this propeller is evaluated in two permanent and non-permanent modes. First, a steady-state hydrodynamic simulation was created, and then the flow field is simulated by adopting the unsteady equations of Improved Delayed Detached Eddy Simulation (IDDES). According to the propeller diameter (D=2m), this simulation was done for the scale of the model, then ITTC87 equations are used to generalize the noise results to the actual size of the propeller. The sound level of the propeller is drawn at distances of 1 and 4 meters and at angles of 30, 60, 90, 120 and 150 degree and analyzed.

Keywords: Marine propeller, Computational fluid dynamics, Fox-Williams-Hawkings (FW-H) equations, Improved Delayed Detached Eddy Simulation (IDDES).

pp. 18-26 (In Persian)

^{*} Corresponding author E-mail: pouransari@iust.ac.ir

مقاله پژوهشی

تحلیل صوتی رفتار پروانهی دریایی- مطالعهی عددی

حسن لکزایی، زینب پورانصاری^{*}

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳

چکیدہ

صدای منتشرشده از کشتیها یکی از مهمترین صداهای اقیانوس است و صدای پروانه یکی از اجزای اصلی صدای کشتی است. اندازه گیری صدای پروانه در آزمایشگاه با وجود دقت بالا و قابلیت اطمینان خوب، هزینههای بالایی دارد و بسیار زمان بر است. به همین دلیل در سالهای اخیر محاسبه صدای پروانه با استفاده از روشهای عددی مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه بررسی عددی تراز صدای کارکردی یک پروانه دریایی براساس دینامیک سیالات محاسباتی (سی فدی) و روابط صوتی فاکس ویلیامز – هاوکینگز (فدابلیو – ایچ) انجام شده است. در این پژوهش به منظور اعتبار سنجی روش حل ابتدا میدان سیال حول پروانه دی تی ام بی ۴۱۱۹ شبیه سازی شد و سپس تراز فشار صدای آن با استفاده از روش انتگرالی فاکس ویلیامز – هاوکینگز استخراج و با نتایج تجربی، مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس یک نمونه پروانه دریایی مورد شبیه سازی قرار گرفت. ارزیابی عمکرد صوتی این پروانه در دو حالت دائم و غیردائم صورت پدیرفت. ابتدا یک شبیه سازی هیدرودینامیکی حالت دائم ایجاد شد و سپس میدان جریان با اتخاذ معادلات غیر دائم گردابههای جداشده تأخیری بهبود یافته (آی دی دی ایی ایش استفادی از موش انتگرالی فاکس ویلیامز حوای این پروانه در دو حالت دائم و غیردائم صورت پدیرفت. ابتدا یک نمونه پروانه دریایی مورد شبیه سازی قرار گرفت. ارزیابی عمکرد صوتی این پروانه در دو حالت دائم و غیردائم صورت پدیرفت. ابتدا یک شبیه سازی هیدرودینامیکی حالت دائم ایجاد شد و سپس میدان جریان با اتخاذ معادلات غیر دائم گردابههای جداشده تأخیری بهبود یافته شبیه سازی هیدرودیامی ی ورونه از معادلات آی تی تی سی ۸۷ استفاده شد. تراز صدای پروانه در فواصل ۱ و ۴ متر و زوایای ۳۰، ۲۰ م ۲۰ و ۱۰ و ۱۵۰ تر سی سی ۲۰ و ۱۰ و ۱۰ م تر و می را گرفت.

کلیدواژهها: پروانه دریایی، دینامیک سیالات محاسباتی، معادلات فاکس ویلیامز- هاوکینگز (اِفدابلیو- اِیچ)، شـبیهسازی گردابـههـای جداشده تأخیری بهبود یافته (آیدیدیایی[س).

۱. مقدمه

در سالهای اخیر استفاده از روشهای عددی در الگوسازی جریان اطراف پروانههای دریایی بسیار رایج شده است. اگر چه روشهای آزمایشی از دقت و پایایی بالاتری نسبت به روشهای عددی برخوردارند، اما هزینههای بالاتر و نیاز به تجهیزات ویژه باعث شده است که روشهای عددی ترجیح داده شوند.

امروزه در مقابل توسعه فناوری تجهیـزات سـوناری، لـزوم بررسی و بهینهسازی صوتیات شناورها افزایش یافته است. پیشبینی نوفه پروانه نیز مانند دیگر سـازهها از دو منظـر کلی قابل بررسی است، دستهی اول بررسـیهـای سـازهای

برای پیش بینی نوف حاصل از ارتعاش است [۱و۲] و دسته ی دوم نیز بررسی و شبیه سازی نوفه هیدرودینامیکی حاصل از پروانه است که هدف اصلی این پژوهش می باشد و در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه سازی نوف ه سازه مبحث بسیار کاربردی و در ارتباط نزدیک با نوف و آوصوتی است که تحقیق حاضر به آن ورود نکرده است. سانچز [۳] به بررسی عددی پروانه دی تی آرسی ۴۱۱۹ و استخراج ضرایب عملکرد هیدرودینامیکی آب آزاد پروانه با بکارگیری معادلات آرای اِس^۲ پرداخت. کیناس و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۳ به بررسی کاواکزایی (کاویتاسیون) صفحه ای ناپایای پروانه دی تی اِم بی ^۳

^{*} نویسنده پاسخگو: pouransari@iust.ac.ir

¹ DTRC4119

² RANS

³ DTMB 4382

با استفاده از الگوی پانل در روش عنصر مـرزی پرداختنـد. آنها به روش تکرارپذیر، آغاز کاواک (کاویتی) و ضخامت و توسعه آن را بررسی کردند.

چن و همکاران [۵] به بررسی عددی نوف منتشرشده از یک الگوی پروانه با استفاده از روش آرایاناس دو بعدی پرداختند. در این پژوهش توزیع فشار اطراف پروانه تعیین شده و از معادلات فاكس ويليامز - هاوكينگز (إفدابليو-اِيچ) جهت تعيين ميدان نوف در اطراف منبع نوف ا استفاده شده است. محمد ناصر و همکاران [۶] به بررسی عــددى رفتارهـاى هيـدروديناميكى و أوصـوتى (هیدروآکوستیک) پروانه دوار زیر آب پرداختند که در شرایط جریان خارج از طراحی کار می کرد. برای این منظور شبيهسازي عددي براي پروانه آيان اساييايان ایی ۷۷۹ای ۲ انجام شده است. الگوی آشفتگی براساس الگوى آشفتگى دو معادلهاى (آراياناس)، يعنى روش کا اومگا اس اس تی آبرای ارزیابی عملکرد هیـدرودینامیکی به کار گرفته شد، در حالی که ارزیابی آوصوتی در میدان نزدیک با جفت کردن معادلات آرای ان اس با معادلات فاكس ويليامز - هاوكينگز (افدابليو- ايچ) محاسبه شد. تانتاری و هین نن [۷] در مطالعهای، روشی برای توصیف پیشرانههای دریایی به عنوان منابع صوتی با روش معکوس معرفی کردنـد. در ایـن یـژوهش الگـوی عـددی بـا منـابع آوصوتی کامل بررسی شد. سپس پاسخ های انتخاب شده بهعنوان ورودی در توصیف منبع با روش معکوس استفاده شدند.

در مطالعه دیگری توسط کلت و همکاران [۸] نوفه تولیدشده توسط پروانه یک کشتی حامل ال[نجی[†] بهصورت عددی و تجربی اندازه گیری شد. باقری و همکاران [۹] تحقیقی روی یک پروانه سهپره از سری گاون⁶ انجام دادند و از نرمافزار تجاری آنسیس فلوئنت[†] برای محاسبه نوفه پروانه استفاده کردند. تستا و همکاران [۱۰] نوفه الگوی پروانه ایی ۱۹۷۹ای^۷ را با استفاده از

⁴ LNG ⁵ Gawn

معادلات افدابليو- ايچ در حضور كاواكزايي (كاويتاسيون) صفحهای ناپایا محاسبه کردند. آنها همچنین از روش پانل مبتنی بر پتانسیل برای الگوسازی جریان اطراف يروانه استفاده کردند. گرجی و همکاران [۱۱] تحقیقی روی محاسبه نوفه پروانه دریایی با استفاده از معادلات آرایان اس در باند بسامد یایین انجام دادند. باقری و همکاران [۱۲] آزمایشهای عددی و تجربی روی نوفه یروانههای دریایی و تأثیرات کـاواکزایـی روی تـراز فشـار صدای پروانه انجام دادند. آنها از جریان لزج (ویسکوز) با حل كننده إفدابليو- إيچ براي محاسبه نوفه استفاده كردند. سئول و همکاران[۱۳] به منظور محاسبه نوفه پروانه دریایی روشی بر مبنای نظریه پتانسیل توسعه دادند. در این مطالعه یک نمونه پروانه دریایی به عنوان هدف مطالعه در نظر گرفته شده است. شبیهسازی صوتی پروانه به روش حجـم محـدود انجـام شـده اسـت. معـادلات آیدی دی ایی اس[^] در شبیه سازی میدان جریان و معادلات (افدابلیو – ایچ) برای پیش بینے نوف استفادہ مے شود. نتایج برای سرعت چرخش ۱۰ دور بر ثانیه و در حالت غیردائم با گام زمانی ۰٬۰۰۰۱۵ از کد تجاری استار-سیسیام پلاس [۱۴] بهدست آمده است. در این پژوهش برای دستیابی به مسیرهای انتشار نوفه با هدف کاربرد در شناسایی برای سونارها، تراز صدای حاصله در فاصلهها و زوایای مختلف ترسیم شد و مورد ارزیابی و تحلیل قرار

۲. مواد و روش

گرفت.

بهمنظور شبیهسازی پروانه مورد نظر ابتدا نیاز است تا از دقت و صحت روش حل اطمینان حاصل گردد. به این منظور ابتدا میدان سیال حول پروانه دی تی اِمبی ۴۱۱۹ به روش حجم محدود شبیهسازی شد و سپس با استفاده از معادلات انتگرالی فاکس ویلیامز – هاوکینگز، تراز فشار صدای آن محاسبه و با نتایج تجربی، معتبرسازی شد. در ادامه یک نمونه پروانه دریایی در حالت مقیاس کوچکتر از الگوی واقعی شبیهسازی شد و در حالت دائم و غیردائم عملکرد صوتی پروانه بررسی گردید. در نهایت با استفاده از

¹ FW-H; Fox-Williams-Hawkings

² INSEAN E779A

 $^{{}^{3}}$ k- ω SST

⁶ ANSYS Fluent

⁷ E779A

⁸ IDDES

⁹ STAR-CCM⁺ version 13.06.012

روابط آی تی تی سی ^۸۸^۷ نتایج مربوط به پروانه الگوی اصلی با توجه به نتایج بهدستآمده از شبیه سازی محاسبه شد. پروانه مرجع دی تی[مبی ۲۱۱۹ یک پروانهی سه پره با قطر پروانه مرجع دی تی[مبی ۲۱۱۹ یک پروانهی سه پره با قطر مشاهده است. شبیه سازی در ضریب پیشروی ۲٫۳ و دور ۱۰ rps رفت. مقدار چگالی و سرعت صدا در آب نیز به ترتیب برابر با ۲۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب و نیز به ترتیب برابر با ۲۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب و نیز دائم بودن حل، به منظور الگوسازی دقیق تغییرات نسبت به زمان، گام زمانی برابر با ۲۰(۱۰ در نظر گرفته شد. که در آن [°]R چرخش به درجه به ازای هر گام زمانی است که در این کار برابر با ۵٫۰ در نظر گرفته شد. در نتیجه مقدار گام زمانی برابر با ۵٫۰ در نظر گرفته شد.



شکل ۱ هندسه پروانه دی تی اِمبی۴۱۱۹.

طرحواره حوزه محاسباتی، شرایط مرزی ورودی و خروجی و ابعاد ناحیه حل در شکل ۲ نشان داده شده است. ناحیه محاسباتی از دو بخش ثابت و دوار تشکیل شده است. دامنه چرخشی و دامنه ثابت در محیط نرمافزار عددی ایجاد شد.



¹ ITTC87

با توجه به هزینه محاسباتی اجرای یک شبیهسازی غیردائم، یک شبکه کارآمد از اهمیت کلیدی برخوردار است. بهمنظور شبکهبندی حول پروانه از شبکهبندی حجمی قطع کننده^۲ بیسازمان بر مبنای عنصر شش وجهی استفاده شد. در نواحی که خواص سیال در آن حائز اهمیت است، مانند اطراف تیغه پروانه، چگالی شبکه افزایش و در مناطق دوردست که جریان آرامتر است تعداد عنصرها کاهش یافت. شکلهای ۳ و ۴ شبکهبندی تولیدشده در نرمافزار استار – سیسیام پلاس را نشان میدهد.



شکل ۳ شبکهبندی ایجادشده در کل دامنهی حل.



شکل ۴ شبکهبندی روی سطح پروانه دی تی اِمبی۴۱۱۹.

به منظور پیشبینی صحیح ناحیه نزدیک دیوار، تعداد لایههای لایه مرزی برابر با ۱۴ لایه و فاصله لایه اول از دیوار ۲۰۰۱، میلی متر تعیین شد. در شبیهسازی صورت گرفته، مقدار متوسط فاصله بیبعد از دیوار مروانه در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۶ شاخص کیفیت شبکهی ایجادشده روی سطح پروانه را نشان میدهد که کیفیت شبکهبندی اتخاذشده را کاملاً تأیید میکند.

² Trimmer



شکل ۵ توزیع ⁺ *y* روی سطح پرههای پروانه، (الف) سطح مکش، (ب) سطح فشار.



شکل ۶ شاخص کیفیت شبکه روی سطح پروانه.

۳. نتایج و بحث

تمام شبیه سازی های جریان با استفاده از نرم افزار استار-سی سی ام پلاس انجام شده است. از آن جایی که نوف ه تولیدشده توسط یک پروانه که با سرعت زیر صوتی کار می کند، در درجه اول به تغییرات فشار سطحی اعمال شده بر سیال اطراف نسبت داده می شود [۱۶]، محاسبات هیدرودینامیکی با فرض ثابت بودن چگالی انجام می شود. معادلات حاکم که جریان غیردائم را مشخص می کنند، نسخه های تراکم ناپذیر معادلات مومنتوم و ناویر – استوکس هستند.

$$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_i} = 1 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial t} + \overline{u}_{j} \frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial x_{j}} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_{i}} + \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left(\frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial x_{j}} \right)$$

$$-\frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_{i}}$$

$$(\Upsilon)$$

مجله انجمن مهندسی صوتیات ایران/دوره ۱۱/ شماره ۲/ پاییز و زمستان ۱۴۰۲

در معادله (۲)، \overline{u} سرعت در جهت i, ρ چگالی، p فشار و $\tau_{i,j}$ نشاندهنده تانسور تنش رینولدز است. معنای نشانگر بالایی (-) در متغیرهای جریان، به روش آشفتگی اعمال شده بستگی دارد. در هر صورت، این ترم ناشناخته است و با فرض بوسینسک^۱ با تعریف لزجت آشفته الگو شده است.

در حالت غیردائم یک روی کرد ترکیبی برای پیش بینی نوفه تولیدشده از جریان اتخاذ شده است. در این روی کرد، آی دی دی ایی اِس با رابطه ی فراست - ۱اِی^۲ همراه می شود. چگالی آب (۵) برابر با ۱۰۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب و سرعت صدا (.C) برابر ۱۵۰۰ متر بر ثانیه تنظیم شده است. رابطه ی ۱اِی مطابق معادله ی (۳) تعریف می شود.

$$p'(x,t) = \frac{1}{\pi \pi} \int_{f=.} \left[\left[\frac{1}{1-M_r} \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{\rho_0 v_n}{r(1-M_r)} + \frac{p \cos\theta}{c_r r(1-M_r)} \right] \right] (\Upsilon) + \left[\frac{p \cos\theta}{r'(1-M_r)} \right] \right]_{\tau_e} dS$$

در اینجا $M_r = (x - y)v/rc$ و r = |x - y| است. متغیر n سرعت نرمال سطح محلی است و τ_e نشاندهنده زمان انتشار است. علاوه بر این، نشاندها در آن ۷ بردار واحد نرمال بر سطح است.

پیشبینی نوفه در این مطالعه تنها یک سطح انتگرالناپذیر را برای فرمول ۱اِی درنظر می گیرد. سطح یکپارچه شامل پرهها و هاب پروانه است.

ضرایب هیدرودینامیکی برای پروانه دیتی اِم بی۴۱۱۹ در ضریب پیشروی مختلف انجام گرفت. در شکل ۷ ضریب گشتاور و ضریب تراست در ضرایب پیشروی مختلف ارائه شده و با نتایج عددی و تجربی مقایسه و مشخص شد که نتایج شبیهسازی صورت گرفته، از دقت قابل قبولی برخوردار است.

بهمنظور تایید اعتبار نتایج صوتی، در روند حل یک گیرنده در مسیر جریان قـرار گرفـت کـه در شـکل ۸ موقعیـت قرارگیری آن مشخص شده است.

شکل ۹ تراز فشار صدای منتشرشده از پروانه دی تی امبی ۴۱۱۹ که توسط گیرندهی تعریف شده، دریافت

¹ Boussinesq

² Farassat-1Å





شکل ۷ مقایسهی ضرایب هیدرودینامیکی کد حاضر و مطالعات تجربی [۱۵] و عددی [۱۶] پیشین.



شکل ۸ مکان قرارگیری هیدروفون برای اعتبارسنجی.

شد را نشان میدهد. این نتایج با دو مطالعه ی عددی و تجربی مقایسه گردید و مشخص شد که نتایج شبیهسازی صورت گرفته، در بیش تر بازهی بسامدی از دقت قابل قبولی برخوردار است.



۳-۱. شبیهسازی پروانه اصلی
پروانه ی مورد نظر یک نمونه پروانه دریایی (پروانه کشتی)

است که دارای چهار پره بوده و قطر آن ۲ متر است. در گام اول برای شبیهسازی پروانه بهدلیل حجم بالای فرآیند شبیهسازی از پروانهی مقیاس کوچکتر با قطر ۷۰ سانتیمتر مطابق شکل ۱۰ استفاده شد. سپس با استفاده از روابط آیتیتیسی۸۷، نتایج برای پروانه اصلی محاسبه شد.



دامنه محاسباتی و شرایط مرزی برای شبیهسازی پروانهی اصلی مطابق شکل ۴ تعیین شد. برای تعریف شـبکهبنـدی بهینه چند استوانهی کمکی تعریف شد که طرحواره آن در دامنهی محاسباتی در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱۱ طرحواره دامنه محاسباتی در محیط نرمافزار.

مطالعات شبکهبندی انجام گرفت و در نهایت برای شبیه سازی از شبکه با تراکم ۶ میلیون یاخته استفاده شده است. شکلهای ۱۲ و ۱۳ به ترتیب توزیع شبکهبندی در کل دامنه و روی سطح پروانه را نشان میدهند.



شکل ۱۲ شبکهبندی ایجادشده در کل دامنه حل.



شکل ۱۳ شبکهبندی روی سطح پروانه.

بهمنظور اطلاع از کیفیت مش خروجی شاخص کیفیت مش و فاصلهی بدون بعد (+y) روی سطح پروانه از نرمافزار دریافت شد که در شکلهای ۱۴ و ۱۵ ارائه شده است.



شکل ۱۴ خروجی شاخص کیفیت مش نرمافزار.

شکل ۱۵ توزیع +*y* روی سطح مکـش و فشـار را نشـان میدهد.



شکل ۱۵ توزیع ⁺y روی سطح پرههای پروانه، (الف) سطح مکش و (ب) سطح فشار.

برای ثبت تغییرات فشار در حین حل میدان جریان، دو پراب در مسیر جریان در جلو و پشت پروانه در فاصلهی ۲ متری تعبیه شد. تغییرات تراز فشار صدا در بسامدهای مختلف در شکل ۱۶ نشان داده شده است. این نتایج در حالت غیردائم و با استفاده از روش آی دی دی ایی اِس بهدست آمده است. خط قرمز نتایج پراب جلو و خط مشکی نتایج پراب پشت را نشان می دهد. تراز فشار صدا برای پراب پشتی بالاتر از پروب جلو است. تراز فشار صدای پروانه ۱۴۰ دسی بل در بسامد ۵۳۰ هرتز به دست آمد. در بسامد ۱۳۰۰ هرتز ملاحظه می شود.

از آنجایی که نتایج تراز فشار صدا در مقیاس الگو بوده، بهمنظور تعمیم نتایج به مقیاس واقعی پروانه (قطر ۲ متر) از روش تعمیم توصیهنامه آی تی تی سی ۸۷ استفاده شده است [۱۹].



در معادلات بالا F و M به ترتيب اشاره به مقـدار واقعـى و الگو دارند.

w ،z ،x و y ضرایب ثابت هستند (z=1, y=۲). r فاصلهی مرجع در جایی که سطح نوف پیش بینی شده است و یکسان در نظر گرفته می شود. معدد کاواکزایی (کاویتاسیون)، n دور پروانه و ρ چگالی سیال است. در شکل ۱۷ نتایج حاصل از پراب پشت پروانه که از



رابطهی (۴) و بر مبنای دادههای شکل ۱۶ محاسبه شده، نمایش داده شده است. بیشینه تراز فشار صدای پروانه ۱۵۹ دسیبل در بسامد ۵۳۰ هرتز بهدست آمد. این مقدار برای پروانه الگو با قطر ۷۰ سانتیمتری برابر با ۱۴۰ دسیبل بود، این اختلاف تقریباً برابر با ۱۹ دسیبل میباشد که از رابطه (۴) قابل محاسبه است. با افزایش بسامد تراز فشار صدای پروانه مقدار کمتری را ارئه میکند. از طرفی با توجه به مراجع بهعنوان مثال مرجع [۱۱] این مقدار برای یک پروانه صنعتی با این قطر مقدار معقولی میباشد.

شکلهای ۱۸ و ۱۹ نمودار تراز فشار صدا را در گیرندههای مختلف در حالت دائم نشان می دهند. این نمودارها برای گیرندههایی که در فواصل ۱ و ۴ متری از پروانه قرار دارند ترسیم شدهاند. خط قرمز نتایج گیرنده واقع در زاویه ۳۰ درجه را نشان می دهد، خط سیاه نتایج گیرنده در زاویه ۶۰ درجه، خط سبز نتایج گیرنده در زاویه ۹۰ درجه، خط بنفش نتایج گیرنده در زاویه ۹۰ درجه و خط آبی نتایج گیرنده در زاویه ۱۵۰ درجه و خط آبی نتایج مشاهده می شود که نوفه در بسامدهای پایین (زیر ۱۰۰ هرتز) و حداکثر ۲۰ هرتز غالب است. بیش ترین مقدار تراز فشار صدا در فاصله یک متری و در زاویه ۹۰ درجه برابر با ۱۳۵ دسی بل دریافت شد. طبق نمودار اس پی ال^۱ پروانه، بیشینه صدای دریافتی در زاویه ۹۰ درجه است و با

¹ SPL

مجله انجمن مهندسی صوتیات ایران/دوره ۱۱/ شماره ۲/ پاییز و زمستان ۱۴۰۲



شکل ۱۸ سطح فشار صوتی پروانه در فاصله ۱ متری و زوایای مختلف.



کل ۲۱ سطح فسار صوبی پروانه در قاصله ۲ متری و روایای مختلف.

مطابق انتظار، به طور کلی تراز فشار صدا در فاصله ۱ متری بیشتر بوده و با افزایش فاصله به ۴ متر این مقدار کاهش مییابد.

نوفه پروانه چهار منشا اصلی دارد. منابع اصلی نوفه پروانــه شامل موارد زیر است [۲۰]:

- ۲. جابه جایی آب توسط پره های پروانه (نوفه تک قطبی یا ضـخامتی) بـیشترین مقـدار آن در صفحه چـرخش پروانه است.
- ۲. اختلاف فشار میان سطوح جلو و عقب پرههای پروانه زمانی که پرههای پروانه در حال چرخش است. (نوف دوقطبی یا بارگذاری) بیش ترین مقدار آن در جلوی هاب پروانه است.

۳. نوسانات حجمی حفره بهوجود آمده روی پرهها.

۴. فرآیند فرویاشی حفره بهوجود آمده.

در حالت بدون کاواکزایی موارد ۱ و ۲ وجود دارند، که در مجموع ترم نوفه دوقطبی مقدار بیشتری دارد. در نتیجه بیشترین مقدار نوفه در جلوی هاب پروانه یا همان زاویه ۹۰ درجه اتفاق میافتد [۲۱]. شکلهای ۱۸ و ۱۹ کاملاً گویای این امر هستند.

۴. بحث و نتیجهگیری

در این مطالعه، فرآیند بررسی صوتی یک پروانه دریایی براساس دینامیک سیالات محاسباتی ارائه شد، بررسے در دو حالت دائم و غير دائم صورت گرفت، يك الگوى سے افدی ٰ با استفادہ از معادلات آی دی دی ایے اس و معادلات انتكرالي فاكس ويليامز - هاوكينكز (افدابليو-ایچ) برای گرفتن اطلاعات منبع نوفه پروانه به کار گرفته شد و تراز فشار صدای پروانه در شرایط کاری استخراج شد. نتایج این تحلیل برای پروانه دیتی امبی ۴۱۱۹ مطابقت خوبی با نتایج آزمایش تجربی داشت که نشان دهنده دقت مناسب شرایط شبکهبندی و حل گر مورد استفاده است. نتایج صوتی برای گیرندهها در فواصل و زواياي مختلف استخراج شد. طبق نمودار اس يي ال يروانه، بیشینه صدای دریافتی در زاویه ۹۰ درجه است و با نزدیک شدن به زوایای جانبی، صدای پروانه کمتر می شود. بیشترین مقدار تراز فشار صدا در فاصله یک متری و در زاویه ۹۰ درجه برابر با ۱۳۵ دسیبل دریافت شد. برای ابعاد کامل پروانه، بیشینه تراز فشار صدا برابر با ۱۵۹ دسیبل دریافت شد. در مجموع ترم نوفه دوقطبی نسبت به تکقطبی مقدار بیشتری دارد. در نتیجه بیشترین مقدار نوفه در جلوی هاب پروانه یا همان زاویه ۹۰ درجه اتفاق مي افتد [٢١].

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از جناب آقای دکتر امین نجفی که با در اختیار گذاشتن سامانه محاسباتی، نویسندگان را یاری نمودند، تقدیر و سپاسگزاری به عمل می آورند.

¹ CFD

تضاد منافع

نویسندگان هیچ منافع مالی یا روابطی که بتواند بر انتشار این مقاله تأثیرگذار باشد ندارند.

فهرست منابع

- [1] R. Talebitooti, M.R. Zarastvand, "The effect of nature of porous material on diffuse field acoustic transmission of the sandwich aerospace composite doubly curved shell," Aerospace Science and Technology, vol. 78, pp. 157-170, 2018.
- [2] M.R. Zarastvand, M. Ghassabi, R. Talebitooti, "Acoustic insulation characteristics of shell structures: a review," Archives of Computational Methods in Engineering, vol. 28, pp. 505-523, 2011.
- [3] I. Senocak, W. Shyy, "Numerical simulation of turbulent flows with sheet cavitation," CAV 2001: session A7. 002, 2011.
- [4] S.A. Kinnas, H. Lee, Y.L. Young, "Modeling of unsteady sheet cavitation on marine propeller blades," International Journal of Rotating Machinery, vol. 9, no. 4, pp. 263-277, 2003.
- [5] A. Chen, S. Li, D. Huang, "Numerical analysis of aerodynamic noise radiated from cross flow fan," Frontiers of Energy and Power Engineering in China, vol. 2, no. 4, pp. 443-447, 2008.
- [6] M.R. Naseer, E. Uddin, A. Mubashar, M. Sajid, Z. Ali, K. Akhtar, "Numerical investigation of hydrodynamic and hydro-acoustic performance of underwater propeller operating in off-design flow conditions," Journal of Marine Engineering & Technology, vol. 21, no. 4, pp. 224-233, 2022.
- [7] J. Tanttari, A. Hynninen, "Acoustic Source Characterization of Marine Propulsors," Journal of Marine Science and Engineering, vol. 10, no. 9, pp. 1273, 2022.
- [8] P. Kellett, O. Turan, A. Incecik, "A study of numerical ship underwater noise prediction," Ocean Engineering, vol. 66, pp. 113-120, 2013.
- [9] M. Bagheri, M. Seif, H. Mehdigholi, "Numerical Simulation of underwater propeller noise," Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering, vol. 4, pp. 4-9, 2014.
- [10] C. Testa, S. Ianniello, F.A. Salvatore, "Ffowcs Williams and Hawkings formulation for hydroacoustic analysisof propeller sheet cavitation," Journal of Sound and Vibration, vol. 413, pp. 421-441, 2018.
- [11] M. Gorji, H. Ghassemi, J. Mohamadi, "Calculation of sound pressure level of marine

propeller in low frequency," Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, vol. 37, pp. 60-73, 2018.

- [12] M. Bagheri, M. Seif, H. Mehdigholi, "Numerical simulation of underwater propeller noise," Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace, Science and Engineering, vol. 4, 2014.
- [13] H. Seol, B. Jung, J.-C. Suh, S. Lee, "Prediction of non-cavitating underwater propeller noise," Journal of Sound and Vibration, vol. 257, pp. 131-156, 2002.
- [14] STAR-CCM+, https://mdx.plm.automation.siemens.com, starccm-plus[accessed 2017-12-18].
- [15] M.R. Bagheri, M.S. Seif, H. Mehdigholi, O. Yaakob, "Analysis of noise behavior for marine propellers under cavitating and noncavitating conditions," Ships and Offshore Structures, vol. 12, pp. 1-8, 2017.
- [16] M.S. Howe, "Acoustics of fluid-structure interactions," Cambridge University Press, 1998.
- [17] S. Jessup, "Experimental data for RANS calculations and comparisons (DTMB P4119)," in 22 ITTC Propulsion Committee Propeller RANS/Panel Method Workshop, Grenoble, Apr. 1998, 1998.
- [18] A. Ebrahimi, M.S. Seif, A. Nouri-Borujerdi, "Hydrodynamic and acoustic performance analysis of marine propellers by combination of panel method and FW-H equations," Mathematical and Computational Applications, vol. 24, no. 3, pp. 81, 2019.
- [19] L. F. Richardson, J. A. Gant, "The deferred approach to the limit," Transactions of the Royal Society, vol. 226, pp. 636-646, 1927.
- [20] J.S. Carlton, "Marine Propellers and Propulsion," Butterworth-Heinemann, London. 1994.
- [21] YE. Jin-ming, X. Ying, L.I. Fang, W. Zhan-Zhi, "Numerical prediction of blade frequency noise of cavitating propeller," Journal of Hydrodynamics, vol. 24, no. 3, pp. 371-377, 2012.