



بررسی عددی تاثیر تعداد پره‌ها بر سطح نویز انتشاری دوقطبی ناشی از پروانه اسکيو بالا

احسان یاری^{۱*}، محمدرضا ناطقی^۲

^۱ استادیار هیدرومکانیک، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
^۲ کارشناس ارشد تبدیل انرژی، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
 مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

چکیده

هدف اصلی از این مقاله، مدل‌سازی عددی نویز هیدرودینامیکی یک نمونه پروانه اسکيو بالا از سری استاندارد دریایی MAU با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی بکمک نرم‌افزار آنسیس-فلوئنت تحت شرایط آب آزاد است. در شبیه‌سازی عددی از مدل توربولانسی DES استفاده شده است که مدل خوبی در مدل‌سازی گردابه‌های کوچک نزدیک دیواره است. به منظور اعتبارسنجی نتایج هیدرودینامیکی و هیدروآکوستیکی از داده‌های موجود از پروانه DTMB4119 استفاده شده است. مقایسه سطح نویز انتشاری بدست آمده برای پروانه DTMB4119 در کار حاضر و داده‌های موجود از مرجع، انطباق خوبی را در فرکانس‌های بالاتر از ۲۰ هرتز نشان می‌دهد، اما در فرکانس‌های کمتر از ۲۰ هرتز حدود ۲۰ درصد خطا مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش تعداد پره‌های پروانه میزان دانسیته ورتکس تولید شده حول پره‌ها کاهش می‌یابد. افزایش تعداد پره‌های پروانه سبب افزایش متوسط میزان سطح نویز انتشاری در گیرنده‌های صوتی در راستای محوری شده است. افزایش تعداد پره‌های پروانه از ۲ تا ماکزیمم ۷ پره حداکثر توانسته است که ۱۵ دسی‌بل میزان سطح نویز انتشاری در راستای محوری را کاهش دهد. در راستای شعاعی، بجز پروانه دو پره، نویز انتشاری دوقطبی ناشی از پروانه‌های ۳ تا ۷ پره نوساناتی مشابه هم دارند. مقدار سطح نویز انتشاری در راستای ۴۵ درجه، برای پروانه‌های ۲ تا ۷ پره مشابه هم می‌باشند.

کلمات کلیدی: سطح نویز انتشاری؛ دینامیک سیالات محاسباتی؛ مدل توربولانسی DES؛ پروانه DTMB4119؛ تعداد پره‌های پروانه.

Numerical investigation of the blades number effect on the bipolar noise radiation level caused by the high skew propeller

Ehsan Yari^{1*}, Mohammad Reza Nateghi²

¹Assist. Prof., Malek-Ashtar university of technology/Mechanical engineering faculty, Tehran, Iran
²MSc, Malek-Ashtar university of technology/Mechanical engineering faculty, Tehran, Iran

Abstract

The main purpose of this article, is numerical modeling of the hydrodynamic noise of a high skew propeller sample from MAU marine standard series using computational fluid dynamics method with the help of Ansys-Fluent software under open water conditions. In the numerical simulation, the DES turbulence model was used, which is a good model for small vortices modeling near the wall. In order to validate the hydrodynamic and hydr-oacoustic results, the available data from the DTMB4119 benchmark propeller has been used. Comparison of the sound pressure level obtained for the DTMB4119 propeller in the present work and the available data from the reference shows a good compliance at frequencies higher than 20 Hz, but at frequencies lower than 20 Hz, about 20% error is observed. Based on the obtained results, with the increase in the number of propeller blades, the amount of vortex density around the blades decreases. The increase in the number of propeller blades has caused an increase in the average level of radiation noise in receivers at the axial direction. Increasing the number of propeller blades from 2 to a maximum of 7 blades has been able to reduce the radiated noise level in the axial direction by 15 decibels. In the radial direction, except the two-bladed propeller, the dipole radiated noises caused by the 3-7-bladed propellers have similar fluctuations. The radiated noise level value in the direction of 45 degree, is similar for 2 until 7 blades propellers.

Keywords: Noise radiation level; CFD; DES turbulence model; DTMB4119 propeller; Number of blades.

۱- مقدمه

نویز گاهی اوقات به عنوان نوعی از صدای مزاحم و نامطلوب شناخته می‌شود؛ ولی از نگاه آکوستیکی صدا و نویز یک پدیده مشابه هستند که از نوسان فشار (افزایش یا کاهش) نسبت به فشار اتمسفر متوسط اطراف جسم پدید می‌آیند. صدا یا نویز نتیجه نوسانات فشار در محیط الاستیک رسانه (مثل هوا، آب و جامد) به وسیله دیواره لرزان یا جریان آشفته است. صوت به دو صورت طولی و عرضی منتشر می‌شود. وقتی صدایی در یک رسانه منتشر می‌شود، نوسانات فشار آن بالاتر یا پایین‌تر (تراکم یا انبساط) از فشار اتمسفر محیط می‌شود. صداها معمولاً با یک فرکانس منتشر نمی‌شوند، بلکه در حالت عمومی صداها مخلوط پیچیده‌ای از نوسانات فشار است که نسبت به فاز، فرکانس و دامنه تغییر می‌کنند. بدست آوردن یک رابطه ریاضی بین خصوصیت‌های متفاوت برای یک چنین مخلوط پیچیده‌ای بسیار دشوار است. انحراف فشار موضعی از فشار محیط پیرامون (میانگین یا تعادل) که به وسیله امواج صوتی ایجاد می‌گردد را فشار صوتی می‌نامند که واحد آن در SI پاسکال است.

• شدت صوتی

شدت صوتی یک مقدار برداری است که ناشی از تولید فشار صوتی و مولفه‌های سرعت آکوستیکی در جهت بردار شدت صوتی است. این مقدار بر حسب وات بر مجذور طول بیان می‌شود.

• عوامل موثر در تولید و انتشار صوت

اولین عامل موثر در نویز، چشمه نویز است که منابع تولید صوت است و ناشی از تغییرات گذرای فشار ناشی از جریان است. دومین عامل تأثیر گذار رسانه یا ماده محیط است. صوت برای انتشار نیاز به ماده دارد که در اینجا به عنوان رسانه شناخته می‌شود. این ماده می‌تواند جامد، مایع، پلاسما یا گاز باشد. چهارمین عامل شنونده یا گیرنده است که می‌تواند میکروفون یا گوش انسان باشد [۱].

• نویزهای هیدرودینامیکی

نویزهای هیدرودینامیکی بیشتر بواسطه کاویتاسیون، جریان‌های حباب دار، گردابه‌های پشت جسم و جریان آشفته ایجاد می‌گردند. در صورت نبودن کاویتاسیون و جریان‌های حباب دار، نویز حاصل از جریان آشفته نسبت به نویز حاصل از ارتعاش بدنه از اهمیت کمتری برخوردار است. نویزهای هیدرودینامیکی بنا به دو دلیل ایجاد می‌گردند:

۱) شکل هندسی جسم متحرک: در این حالت به دلیل رانده شدن سیال توسط جسم، فشار یکنواخت سیال اولیه به هم خورده و اختلاف فشار در قسمت‌های مختلف سیال ایجاد می‌گردد.

۲) نوع رژیم جریان در اطراف جسم: بسته به سرعت جریان و میزان آشفتگی آن، مقادیر نویز تولیدی متفاوت خواهد بود. همچنین بنا به شدت گردابه‌های پشت جسم یا میزان جدایش جریان روی بدنه، این مقدار متفاوت است.

در شناورهای دریایی، نویز حاصل از حرکت پروانه در آب اثر غالب را در میان سایر منابع نویز شناور دارد. منبع اصلی تولید این نویز، جریان پیچیده در پشت پروانه است. این جریان‌ها که همراه ورتکس، رشد و انفجار کاویتاسیون می‌باشد، شناسایی نویزهای تولیدی را دشوار می‌کند [۲].

۲- تاریخچه

در زمینه نویز پروانه‌های دریایی، طی سالهای اخیر فعالیت‌های مختلفی انجام شده، که در ادامه به برخی از آنها پرداخته می‌شود. هایمف و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۵ نویز غیرکاویتاسیونی پروانه را به صورت تجربی پیش بینی کردند. علاوه بر اندازه‌گیری نویز پس‌زمینه، مطالعاتی برای اندازه‌گیری و تعیین نویز ایجاد شده در اثر محیط آزمایش نیز انجام شده است. پس از تفریق میزان نویز ناشی از محیط آزمایشگاه و پس‌زمینه از نویز اندازه‌گیری شده برای پروانه مدل، و با برون‌یابی مقادیر اندازه‌گیری شده، نویز پروانه در مقیاس واقعی پیش بینی شده است. در نهایت مقایسه‌ی نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج اندازه‌گیری در مقیاس واقعی، نشان داده است که این مطالعه قادر به پیش بینی دقیق نویز دور دست در مقیاس واقعی نبوده و صرفاً معیاری کیفی در اختیار می‌گذارد. نتایج این مطالعه برای اعتبارسنجی روش‌های عددی قابل استفاده است. اکتاس و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۵ روشی جدید برای پیش بینی تجربی نویز کاویتاسیونی ارائه کردند. این روش مشابه روش‌های رایج موجود است، به این صورت که نویز پروانه‌ی مدل پس از آزمایش در تونل کاویتاسیون اندازه‌گیری شده و با برون‌یابی نتایج، نویز پروانه در مقیاس واقعی پیش‌بینی شده است. هدف از این مطالعه ارائه‌ی داده‌های مربوط به شدت نویز یک کشتی در مقیاس واقعی، ارائه‌ی یک مدل نیمه تجربی برای پیش بینی نویز توسط تونل

سیگنال‌های زمان-فرکانس انجام شده است و پارامترهای هندسی مختلف شامل نسبت سطح پره، نسبت گام به قطر و تعداد پرها را مورد بررسی قرار داده است.

• تاریخچه مطالعات عددی

اگر چه روش‌های تجربی از اعتبار بسیار بالایی برخوردارند، اما با ظهور رایانه‌های مدرن، قدرت محاسباتی نیز با سرعت بسیاری افزایش یافت که موجب استفاده چشمگیر از روش‌های عددی شد. مبنای بسیاری از این روش‌های عددی روش‌های تئوریک است که سعی بر تعریف پدیده‌های آکوستیکی به زبان ریاضی دارند. در سال ۱۹۵۲ لایت هیل [۱۰] با استفاده از روابط کلی حاکم بر سیال از روابط پیوستگی و ممنوم بدون در نظر گرفتن فرض‌های ساده کننده، توانست رابطه‌ی کلی صوت را برای نویز حاصل از جت در هوا، بکمک تحلیل آکوستیکی ارائه کند. در این رابطه، صوت تولیدی توسط اغتشاش سیال را می‌توان با استفاده از نوسانات سرعت در میدان سیال تعیین کرد.

در سال ۲۰۰۲، سئول و همکاران [۱۱] با توسعه یک برنامه کامپیوتری به بررسی عددی نویز غیر کاویتاسیونی ناشی از یک پروانه مغروق در شرایط کاری مختلف پرداختند، و هم چنین تاثیر افزودن داکت بر متغیرهای آکوستیکی پروانه را بررسی کردند. نتایج پژوهش این محققان نشان می‌دهد که تاثیر افزودن داکت بر نویز دوردست و در شرایط غیر کاویتاسیون بسیار کم بوده و مقدار آن با پروانه بدون داکت تقریباً برابر است. کیم و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۳ نویز آبرو-آکوستیکی یک فن را به روش هولوگرافی آکوستیکی نزدیک، شبیه‌سازی کردند. مدل آکوستیکی فن با استفاده از نرم افزار انسیس-فلوئنت ایجاد شده است که اطلاعات مربوط به منبع آکوستیکی بکمک جریان آشفتگی گذرا مدل کی-اِپسیلون شبیه‌سازی شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که به خوبی می‌توان از روش آبرو-آکوستیکی مبتنی بر معادلات FWH برای پیش بینی نویز فن محوری آزاد استفاده کرد. نتایج این مطالعه برای فرکانس‌های پایین تطابق بهتری با نتایج تجربی داشته است.

جانگ و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۴ به مطالعه عددی نویز پروانه در جریان غیر کاویتاسیونی پرداختند. در این پژوهش بارگذاری فشاری روی پرها با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی و پیش بینی نویز با استفاده از نرم

کاویتاسیون در ابعاد متوسط و در نهایت بررسی اعتبار این مدل بوده است.

بروکر و هامفری [۵] در سال ۲۰۱۵ نویز کاویتاسیونی یک کشتی تحقیقاتی کوچک را در آب کم عمق بکمک سه هیدروفون در مقیاس واقعی اندازه‌گیری کردند. در این مطالعه آرایه‌های مختلفی برای چیدمانی هیدروفون‌ها در نظر گرفته شده تا علاوه بر کاهش نویز اطراف، میزان عدم قطعیت آزمایش‌ها نیز بررسی شود. در سال ۲۰۱۶ کیم و همکاران [۶] دو روش تجربی برای پیش بینی نویز ناشی از پروانه ارائه کردند. در روش اول بر اساس مدل پروانه، فرمول‌های نیمه تجربی بر مبنای تئوری نویز گردابه‌ی نوک پره توسعه داده شده است و در نهایت فرمول بندی نهایی این روابط بر اساس نتایج تست تونل آب برای ۹ پروانه مختلف کالیبره شده‌اند. در روش دوم، نویز پروانه در مقیاس واقعی بر اساس ضریب انتقال صوت در پاشنه کشتی پیش بینی شده است؛ همچنین با انجام تست‌های مختلف برای اندازه‌گیری شتاب، رابطه‌ی بین نویز ناشی از سیال و سازه مشخص شده است. در نهایت مدل تجربی ارائه شده با نتایج اندازه‌گیری نویز در حالت زیرسطحی تطبیق داده شده اند.

تانی و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۷ در مطالعات تجربی خود به بررسی پالس‌های فشاری و نویز کاویتاسیونی منتشر شده از دو پروانه پرداختند. تفاوت اصلی هندسه این دو پروانه در نحوه توزیع ریک است که در یکی توزیع رو به جلو و در دیگری رو به عقب است. بر اساس نتایج تست‌های تونل آب وقوع کاویتاسیون لایه‌ای به طور قابل توجهی شدت نویز را افزایش می‌دهد. پارک و سئونگ [۸] در سال ۲۰۱۷ روش جدیدی برای تخمین نویز ناشی از کاویتاسیون گردابه‌های نوک پره در مدل‌های تجربی ارائه کردند. در این مطالعه روشی دقیق‌تر و کامل‌تر ارائه شده که مبتنی بر معادله‌ی ریلی-پلست، مدل گردابه‌ی رانکین، تئوری خط برآزا و تعدادی فرضیات فیزیکی است. این مطالعه نشان می‌دهد که نتایج این روش نسبت به سایر روش‌ها دقت بالاتری دارد. اکتاس و همکاران [۹] در فعالیتی دیگر در سال ۲۰۱۸ به مطالعه‌ی تجربی نویز ناشی از کاویتاسیون در پروانه‌های سری استاندارد دریایی پرداختند. در این آزمایش‌ها جریان ورودی به پروانه طوری ایجاد شده که شرایط جریان گردابی پشت کشتی را شبیه‌سازی کند. بررسی مکانیزم ایجاد نویز کاویتاسیونی از طریق پردازش

افزار ال ام اس^۱ و بکارگیری مدل دوقطبی چرخان انجام شده است. شبیه‌سازی‌ها برای هر دو حالت جریان پایا و غیرپایا انجام شده است تا تاثیر بارگذاری غیرپایا هم بررسی شود. بر اساس نتایج این محققین، روش مورد استفاده برای پیش بینی نویز پروانه در جریان غیرکاویتاسیونی از دقت خوبی برخوردار است. زنگ و دو [۱۴] در سال ۲۰۱۵ به مطالعه عددی طیف خطی فرکانس نویز پروانه‌های عکس‌گرد مغروق پرداختند. در این پژوهش، مکانیزم اثر تداخل و هم چنین اثر میدان هارمونیک محیط بررسی شده و طیف خطی فرکانس و جهت گیری فشار صدا تحلیل شده است.

ازدن و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۶ نویز پروانه‌ی هفت پره‌ی INSEAN E1619 را در شرایط مختلف جریان توسط نرم افزار تجاری فلونتت مطالعه کردند. برای شبیه‌سازی آشفتگی جریان از مدل SST k- ω و برای تحلیل هیدروآکوستیکی از مدلی مبتنی بر معادلات ویلیامز-هاوکینگز استفاده شده است. این مطالعه نشان داد که در صورت عدم وجود مدل بدنه‌ی زیردریایی می‌توان صرفاً با داشتن الگوهای گردابی جریان ورودی به پروانه نویز آن را با دقت قابل قبولی پیش بینی کرد. وی و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۱۶ به بررسی تاثیر بازتابی بدنه‌ی زیردریایی بر نویز غیرکاویتاسیونی پروانه‌ی آن پرداختند. در این مطالعه برای تحلیل جریان از روش دینامیک سیالات محاسباتی و از آنالوژی آکوستیکی برای پیش بینی نویز در یک دامنه زمانی مشخص استفاده شده است. حداکثر افزایش شدت صوت در اثر پراکنش از سطح بدنه با افزایش فرکانس گذر افزایش یافته است، به طوری که در فرکانسی معادل سه برابر فرکانس گذر پروانه میزان شدت صوت تا ۲۰ دسیبل افزایش یافته است.

سزن و همکاران [۱۷]، در سال ۲۰۱۶، به پیش بینی عملکرد هیدرودینامیکی پروانه و همچنین تعیین طیف نویز آن پرداختند. بدین منظور پروانه‌ی DTMB4119 با استفاده از مکانیک سیالات محاسباتی و روش حجم محدود شبیه سازی شده است. نتایج این پژوهش عددی نشان داده است که نویز پروانه در حالت بدون کاویتاسیون عمدتاً ناشی از گردابه‌های نوک پره بوده و با افزایش سرعت چرخش پروانه میزان نویز آن نیز افزایش می‌یابد. نصیر و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۷ نویز غیرکاویتاسیونی یک پروانه را با استفاده از دینامیک سیالات

محاسباتی پیش‌بینی کردند. در این مطالعه شبیه‌سازی جریان توسط نرم افزار انسیس-فلونتت و به روش LES و RANS انجام شده است. برای مدلسازی آشفتگی در روش RANS از مدل استاندارد k- ϵ استفاده شده است. سپس اطلاعات فشاری بدست آمده از مدلسازی هیدرودینامیکی با استفاده از آنالوژی آکوستیکی ویلیامز-هاوکینگز برای پیش‌بینی نویز پروانه استفاده شده است.

قاسمی و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۸ به بررسی تاثیر زاویه ریک نوک پره بر مشخصات هیدرودینامیکی و شدت نویز پروانه DTMB4382 پرداختند. در این مطالعه از نرم افزار انسیس-فلونتت برای شبیه سازی جریان استفاده شده است. علت بررسی زوایای مختلف ریک، تاثیر آن بر ایجاد گردابه‌های نوک پره و سطح نویز انتشاری پروانه است. معادلات ویلیامز-هاوکینگز برای پیش بینی شدت صوت در نقاط مختلف حول پروانه به کار گرفته شده است. این محققین نتیجه گرفتند که با افزایش اندازه زاویه ریک شدت نویز کاهش می‌یابد، البته همراه با آن بازدهی پروانه نیز مقداری افت می‌کند. از طرفی نتایج نشان می‌دهند که میزان کاهش نویز بعد از یک زاویه خاص به مرور کاهش می‌یابد. در سال ۲۰۱۹ خالد و همکاران [۲۰] با الهام گرفتن از پدیده‌های طبیعی نظیر شنای ماهی به بررسی نویز یک هیدروفویل نوسانگر پرداختند. در این مطالعه برای حل جریان از روش حجم محدود و نرم افزار انسیس فلونتت استفاده شده است. به این ترتیب محققین توانستند با استفاده از معادلات ویلیامز-هاوکینگز نویز ناشی از شنای ماهی را در محدوده وسیعی از پارامترهای سینماتیکی و همچنین محدوده وسیعی از پارامترهای جریان از جمله عدد رینولدز، فرکانس کاهش یافته و عدد استروهل مطالعه کنند.

در سال ۲۰۱۹ ژانگ و همکاران [۲۱] با توسعه چند کد محاسباتی مشخصات نویز ناشی از پروانه‌ی مغروق و روش‌های پیش بینی آن را مطالعه کردند. این محققین برای پیش بینی نویز در فرکانس‌های پایین و متوسط از سه روش ترکیبی المان مرزی و المان محدود، المان محدود و المان نامحدود و همچنین المان محدود و لایه خود تطبیق دهنده استفاده کرده‌اند. در این پژوهش برای محاسبه ارتعاشات بدنه و نویز منتشر شده در زیر آب در فرکانس‌های بالا از روش آنالیز آماری انرژی استفاده شده است.

^۱ LMS

است. در پروانه‌های دریایی به دلیل نرخ بسیار کم انتقال حرارت می‌توان از حل معادله انرژی صرف نظر کرد.

- مدل اغتشاشی شبیه‌سازی گردابه‌های جدا شده^۱ DES در واقع ترکیبی از دو روش RANS و LES است به این صورت که در نواحی نزدیک دیواره از روش RANS و در سایر نواحی از روش LES استفاده می‌کند. در نواحی نزدیک دیواره جامد طول مقیاس آشفتگی کمتر از حداکثر ابعاد شبکه است، به همین دلیل در این نواحی از مدل RANS برای مدل‌سازی آشفتگی استفاده می‌شود. با افزایش طول مقیاس آشفتگی نسبت به ابعاد شبکه جریان توسط مدل LES شبیه‌سازی می‌شود که دقت به مراتب بالایی دارد [۲۳-۲۴]. معادله مومنوم برای یک سیال نیوتونی تک فازی تراکم ناپذیر در مدل DES به شکل زیر خواهد بود [۲۵-۲۶]:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial D_{ij}}{\partial x_j} \quad (3)$$

که در آن \bar{u}_i سرعت سیال، ρ چگالی سیال، \bar{p} فشار سیال، ν ویسکوزیته جنبشی و $D_{ij} = \bar{u}_i \bar{u}_j - \bar{u}_i \bar{u}_j$ تانسور هیبریدی تنش آشفتگی است. این تانسور مشابه تانسور تنش رینولدز در مدل URANS و تانسور تنش مقیاس زیرشبکه (SGS) در مدل LES است.

- روابط حاکم بر صوت رابطه کلی مربوط به موج آکوستیکی بصورت زیر است [۵۲]:

$$\frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} - a_0^2 \nabla^2 p' = q \quad (4)$$

که q برابر با منابع تولید صوت یا همان عبارات چشمه^۲ هستند. سه منبع اصلی تولید صوت عبارتند از تولید جرم، تغییر مومنوم و منابع غیر خطی همانند جریان مغشوش. البته

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho f - \nabla P + \mu \nabla^2 V \quad (2)$$

منابع دیگری مانند واکنش‌های شیمیایی و حرارتی نیز از

با توجه به اهمیت بررسی نوین پروانه‌ی شناور، در تحقیق جاری به مطالعه و تحلیل هیدرودینامیکی و هیدروآکوستیکی یک پروانه‌ی زیر سطحی در حالت تک فازی (بدون کاویتاسیون) پرداخته شده است. بدین منظور پروانه‌ی DTMB4119 برای مطالعه در نظر گرفته شده است. در مطالعه‌ی حاضر دو هدف دنبال شده است که عبارت‌اند از بررسی عددی تعیین سطح نوین دو قطبی پروانه شناورهای دریایی با استفاده از روش عددی حجم محدود، مطالعه پارامتر هندسی تعداد پره‌های پروانه در تعیین سطح نوین انتشاری پروانه که در راستای جریان و عمود بر جهت جریان انتشار صوت و نوین انتشاری مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله تحلیل عددی ناپایا و چرخش پروانه با استفاده از روش Moving mesh در نرم افزار انسیس-فلوئنت انجام شده است. نوین بویژه در پروانه‌های زیرسطحی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ لذا استفاده از هندسه پروانه اسکيو بالا سری MAU و مدل اغتشاشی DES بهمراه تاثیر تعداد پره‌ها بر روی سطح نوین انتشاری را می‌توان نوآوری کار حاضر نسبت به مطالعات انجام شده در گذشته عنوان کرد.

۳- معادلات حاکم

اصل اساسی که در مکانیک سیالات استفاده می‌شود اصل بقا جرم است. این اصل بیان می‌دارد که جرم نه تولید می‌شود و نه از بین می‌رود و توسط معادله پیوستگی بیان می‌گردد. این معادله برای سیالات تراکم‌پذیر به فرم زیر بیان می‌شود [۲۲]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

که در آن \vec{V} بردار سرعت و ρ چگالی است. اندازه حرکت حاصل ضرب جرم در سرعت است. قانون دوم نیوتون بیان می‌کند که برآیند نیروهایی که بر یک جسم اثر می‌کند، برابر است با تغییرات خالص مومنوم با در نظر گرفتن جریان غیرقابل تراکم و ثابت فرض کردن ضریب ویسکوزیته، شکل معادله ناویراستوکس به صورت زیر می‌باشد:

که در آن V بردار سرعت، P بیانگر فشار، f نیروهای حجمی و μ ویسکوزیته است. اپراتور $\frac{D}{Dt}$ بیانگر مشتق مادی

² Source Terms

¹ Detached Eddy Simulation (DES)

$$\frac{\partial^2 T_{ij}(y; t - \frac{|x-y|}{a_0})}{\partial x_i \partial x_j} \frac{1}{|x-y|} = \frac{(x_i - y_i)(x_j - y_j)}{|x-y|^3} \frac{1}{a_0^2} \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 T_{ij}(y; t - \frac{|x-y|}{a_0})}{\partial t^2}$$

با جایگذاری معادله (۷) در معادله انتگرالی لایت هیل، معادله نهایی به صورت زیر در می آید.

$$\rho'(x; t) = \frac{1}{4\pi a_0^2} \int_{\Omega} \frac{(x_i - y_i)(x_j - y_j)}{|x-y|^3} \frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 T_{ij}(y; t - \frac{|x-y|}{a_0})}{\partial t^2} dy \quad (8)$$

در این بخش ابتدا در مورد هندسه پروانه، دامنه حل، شبکه بندی دامنه و همچنین در مورد شرایط مرزی و سپس در مورد جزئیات شبیه سازی جریان توربولانس به منظور شبیه سازی هیدرودینامیکی و هیدروآکوستیکی به منظور یافتن نویز حاصل از پروانه در فواصل مختلف توضیح داده خواهد شد. پروانه مورد نظر جهت تحلیل عددی DTMB4119 است، ابتدا به بررسی استقلال حل عددی از شبکه محاسباتی پرداخته می شود. سپس به صحت سنجی نتایج هیدرودینامیکی و هیدروآکوستیکی پروانه با تحقیقات انجام شده در گذشته اشاره شده و در ادامه به ارائه نتایج شبیه سازی هیدرودینامیکی و هیدروآکوستیکی پروانه DTMB4119 در ضرایب پیشروی مختلف پرداخته شده است.

۴- پروانه DTMB4119 (بنچمارک)

در این مقاله از هندسه یک پروانه سه پره ای به قطر ۰/۳۰۴۸ متر استفاده شده است. پروانه DTMB4119 یک نمونه پروانه سه پره ای بنچمارک است که نتایج تحقیقات تجربی هیدرودینامیکی آن در ضرایب پیشروی مختلف موجود است.

جمله منابع جدی تولید صوت مطرح می باشند.

یکی از این روش ها ویلیام و هاوکینگز (FW-H) است. فرمولاسیون FW-H شکل کلی تحلیل آکوستیکی لایت هیل^۱ است و قادر است، صدای تولید شده با منابع آکوستیکی هم ارزی چون تک قطبی^۲، دو قطبی^۳ و چهارقطبی^۴ ها را پیش بینی کند. با استفاده از یک فرمولاسیون با ناحیه انتگرالی می توان فشار صوت و یا سیگنال های آکوستیکی در موقعیت های مشخص دریافت کننده ها^۵ را بدست آورد که بطور مستقیم بوسیله ارزیابی سطح انتگرالی محاسبه می شوند.

• معادله انتگرالی لایت هیل

روش اصلی که توسط لایت هیل برای حل معادله غیرهمگن موج پیشنهاد شده است، منجر به فرمولی انتگرالی می شود. این روش بر پایه استفاده از تابع گرین در دامنه نامتناهی^۶ است.

$$\rho'(x; t) = \frac{1}{4\pi a_0^2} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_{\Omega} \frac{T_{ij}(y; t - \frac{|x-y|}{a_0})}{|x-y|} dy \quad (5)$$

که در معادله فوق، Ω دامنه انتگرال گیری بر روی حجمی است که اغتشاش در آنجا باعث تولید نویز می شود. این دامنه باید تمامی منابع تولید نویز را پوشش دهد. x بردار مکان گیرنده نویز، y بردار مکان منبع نویز و a_0 سرعت صوت است. با حل معادله انتگرالی (۵)، نوسانات چگالی برای گیرنده صوت در مکان x و در زمان t حاصل می شود. در مناطقی در فاصله ای بزرگتر از $(2\pi)^{-1}$ برابر یک طول موج نمونه، می توان مشتق مکانی را به مشتق زمانی تبدیل کرد. این کار برای هر تابع $f(t - |x|/a_0)$ به صورت زیر انجام می شود.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} f\left(t - \frac{|x|}{a_0}\right) = -\frac{x_i}{a_0|x|} \frac{\partial}{\partial t} f\left(t - \frac{|x|}{a_0}\right) \quad (6)$$

بنابراین می توان نوشت :

⁴ Quadrupoles

⁵ receiver

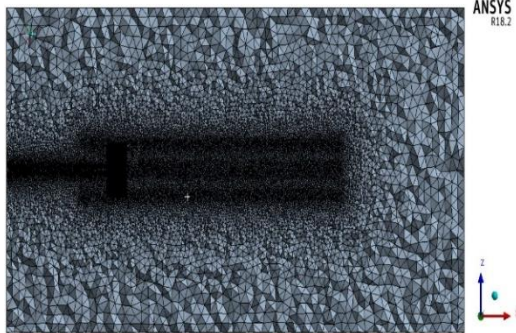
⁶ Free Space Green Function

¹ Lighthill

² Monopole

³ Dipole

است. شبکه‌بندی دامنه حل شامل دو قسمت است، قسمت اول که بخش عمده دامنه حل است و ساکن است و قسمت دوم به صورت حجم دوار حول پروانه است. به منظور رسیدن به جوابهایی با دقت قابل قبول باید در مناطقی که گرادیان سرعت زیاد است، مانند نواحی نزدیک به سطوح پروانه و به خصوص در ناحیه دنباله‌های ناشی از پروانه از شبکه بندی ریزتری استفاده نمود. بدین منظور از روش مش زنی بدن نفوذ^۱ استفاده شده تا در نواحی ذکر شده مطابق شکل ۲ با دقت بیشتری پارامترهای فیزیکی را بررسی نمود. در شبکه لایه مرزی از ۱۰ لایه با ضخامت لایه اول ۰/۱ میلی‌متر و با نرخ رشد^{۱۱} ۱/۱ به کار گرفته شده است.



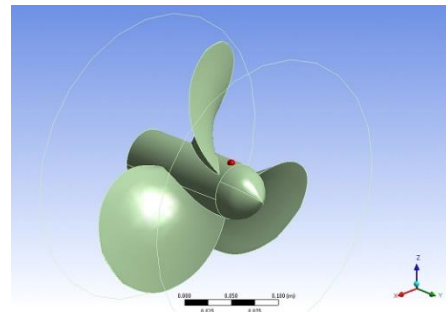
شکل ۲- نمای برش خورده از مش پروانه و پایین دست جریان

• تنظیمات هیدرودینامیکی-هیدروآکوستیکی

جریان به صورت مغشوش در نظر گرفته شده است. با توجه به خصوصیات سیال آب و تعریف عدد رینولدز مشخص می‌شود که عدد رینولدز از مرتبه ۱۰ میلیون است. سیال آب به صورت تراکم‌ناپذیر در نظر گرفته شده است زیرا عدد ماخ کوچکتر از مقدار ۰/۳ است. سرعت صوت در آب $\frac{m}{s} 1500$ و چگالی آب $\frac{kg}{m^3} 1026$ در نظر گرفته شده است. فشار مرجع آکوستیک^{۱۲} برای سیال آب برابر با $10^{-6} pa$ است.

• استقلال حل عددی از شبکه محاسباتی

جواب‌های حل عددی باید مستقل از سایز، تراکم شبکه و



شکل ۱- هندسه پروانه DTMB4119

• میدان حل

پروانه DTMB4119 به صورت یک جسم جامد بسته در وسط جریانی از سیال در یک دامنه محاسباتی استوانه‌ای شکل قرار گرفته است. ابعاد و فواصل قرارگیری پروانه در این استوانه به حد کافی بزرگ است بگونه‌ای که اثرات دیواره با توجه به ابعاد هندسی و مشخصات جریانی حذف شده است. اگر D قطر پروانه باشد، میدان حل^۱ شامل استوانه‌ای به قطر ۱۰D و طول ۱۵D است و قطر و طول استوانه کوچک دربرگیرنده پروانه D و ۱/۱ و ۰/۶D است که به عنوان حجم دوار در نظر گرفته شده است.

• شرایط مرزی

شرط مرزی ورودی از نوع سرعت^۲ و شرط مرز خروجی از نوع فشار^۳ با فشار نسبی صفر است. مرزهای جانبی استوانه بزرگ باید طوری انتخاب شوند که بر روی حل عددی در اطراف پروانه تأثیری نداشته باشند؛ در نتیجه از شرط مرزی متقارن^۴ استفاده شده که داری تنش برشی صفر است. از شرط مرزی سطح مشترک^۵ برای تمامی سطوح استوانه دوار کوچک حول پروانه استفاده شده و همچنین برای تمامی سطوح پروانه از شرط مرزی دیواره چرخان^۶ در شرایط بدون لغزش^۷ بهره گرفته شده است.

• تولید شبکه

جهت شبکه‌بندی دامنه حل از نرم افزار انسیس مشینگ^۸ به صورت ترکیب سازمان یافته و بی سازمان^۹ استفاده شده

⁷ No Slip Condition

⁸ Ansys Meshing

⁹ Unstructure

¹⁰ body of influence

¹¹ Growth rate

¹² Refrence Pressure Acoustic

¹ Domain

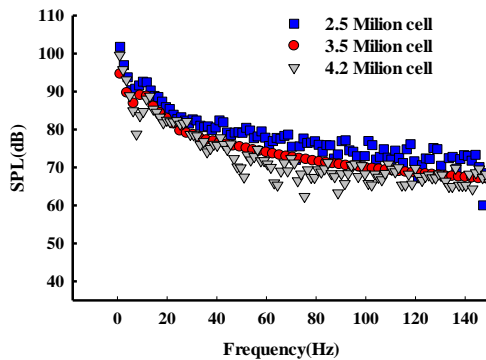
² Velocity Inlet

³ Pressure Out Let

⁴ Symmetry

⁵ Interface

⁶ Moving Wall



شکل ۵- نمودار استقلال حل اکوستیکی از شبکه

• نتایج هیدرودینامیکی پروانه DTMB4119

برای بیان نتایج تحلیل هیدرودینامیکی پروانه از ضریب پیشرانش^۱، ضریب گشتاور^۲ و بازده هیدرودینامیکی استفاده شده است. این ضرایب و راندمان به ترتیب مطابق فرمول‌های زیر محاسبه می‌گردند:

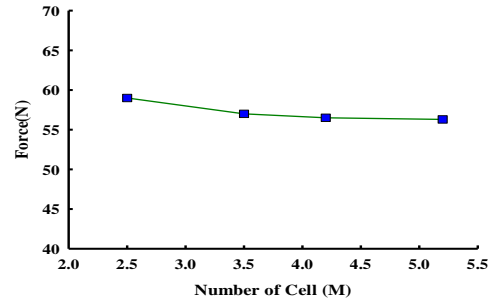
$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (9)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (10)$$

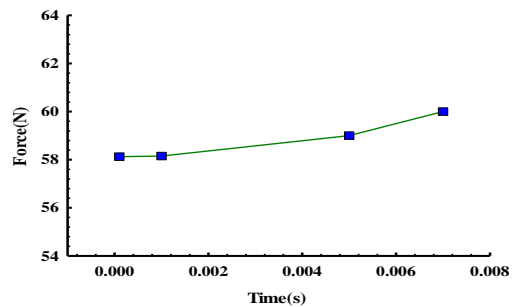
$$\eta = \frac{K_T J}{K_Q 2\pi} \quad (11)$$

که در این روابط $J = \frac{V}{nD}$ ضریب پیشروی، T نیروی پیشرانش تولیدی توسط پروانه، Q گشتاور وارد بر پروانه، چگالی سیال و n سرعت چرخش پروانه بر حسب دور بر ثانیه است. با توجه به شکل‌های ۶ و ۸ می‌توان هر یک از این ضرایب تراست و گشتاور را بر حسب ضریب پیشروی مشاهده نمود. مقدار این ضرایب مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی مرجع [۲۸] دارد و این نشان‌دهنده دقت شبیه‌سازی هیدرودینامیکی است. نمودار خطای K_T و K_Q در شکل‌های ۷ و ۹ نمایش داده شده است.

بازه زمانی باشند. بدین منظور مقدار نیروی پیشرانش برای پروانه در چندین سائز شبکه و بازه زمانی مختلف به دست می‌آید تا شبکه و بازه زمانی انتخاب شوند که اندازه و گام زمانی آن روی مقدار نیروی پیشرانش تاثیری نداشته باشند. در نهایت شبکه با تعداد ۳/۵ میلیون سلول محاسباتی انتخاب شده است.



شکل ۳- نمودار استقلال حل از شبکه



شکل ۴- نمودار استقلال حل از گام زمانی

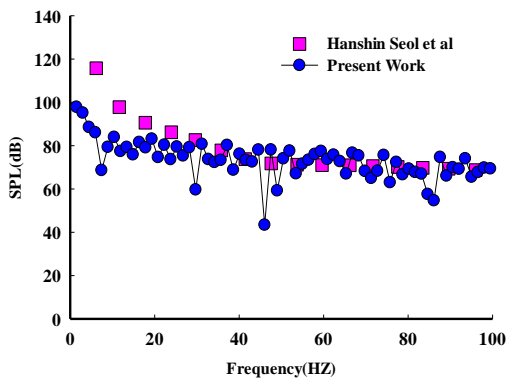
در ادامه به بررسی میزان استقلال حل از شبکه در مورد نویز دریافتی از هیدروفونی که در موقعیت $\theta=0$ و $R=5D$ (که R فاصله هیدروفون از پروانه و D قطر پروانه است) قرار دارد به بررسی میزان استقلال سطح نویز بدست آمده از حل عددی در برابر تغییرات شبکه پرداخته شده است.

² Torque coefficient

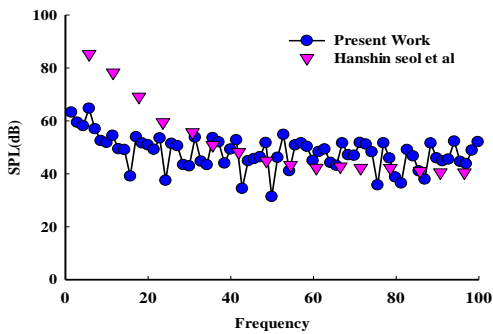
¹ Thrust coefficient

• نتایج هیدروآکوستیکی پروانه DTMB4119

برای صحت سنجی نتایج هیدروآکوستیکی از داده های هانشین سئول و همکاران [۲۷] استفاده شده است. آن‌ها با در نظر گرفتن دو دریافت‌کننده در جهت شعاعی و عمود بر محور چرخش پروانه در فواصل پنج برابر قطر پروانه از محور چرخش، مقادیر نویز پروانه را به دست آورده‌اند. مقدار سرعت چرخشی پروانه و سرعت جریان ورودی به ترتیب برابر با ۱۲۰ دور بر دقیقه و ۱/۶ متر بر ثانیه است.

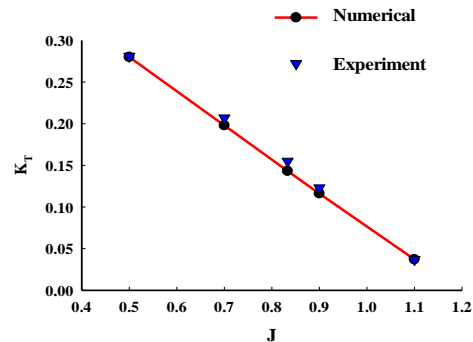


شکل ۱۰- مقایسه تراز فشار صوتی کار حاضر با نتایج هانشین سئول [۲۷] در فاصله 5D و $\theta=0$

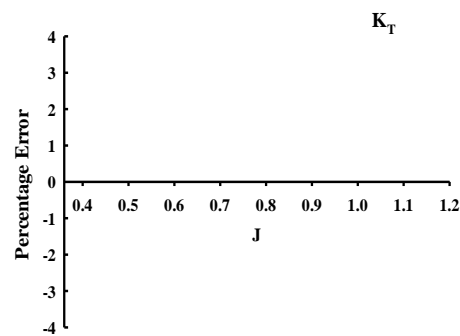


شکل ۱۱- مقایسه نمودار تراز فشار صوتی کار حاضر با نتایج هانشین سئول [۲۷] در فاصله 5D و $\theta=90$

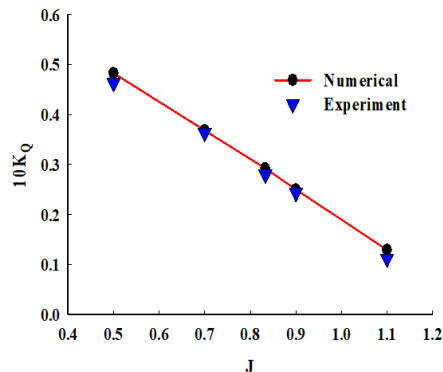
در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ می‌توان تراز فشار صوتی (SPL) را بر حسب فرکانس در شرایط کارکرد مشابه در دو نقطه دریافت‌کننده مشخص، در کار حاضر و نتایج هانشین سئول و همکاران [۲۷] مشاهده نمود. همانطور که مشاهده می‌شود، نمودار تراز فشار صوتی با نتایج مرجع مذکور تطابق خوبی دارد. معمولاً در بررسی نویز غیر کاویتاسیونی پروانه‌های زیردریایی



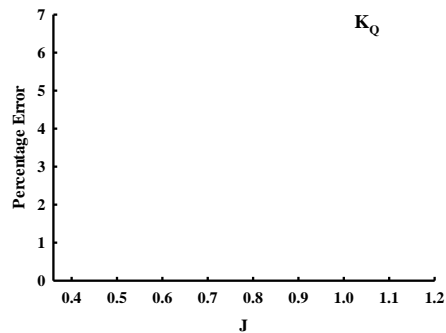
شکل ۶- نمودار ضریب تراست بر حسب ضریب پیشروی



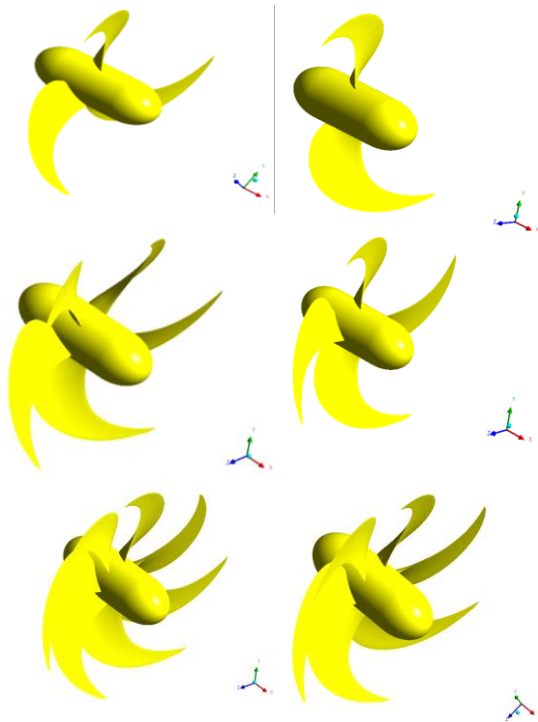
شکل ۷- میزان خطا ضریب تراست با داده های تجربی



شکل ۸- نمودار ضریب گشتاور بر حسب ضریب پیشروی



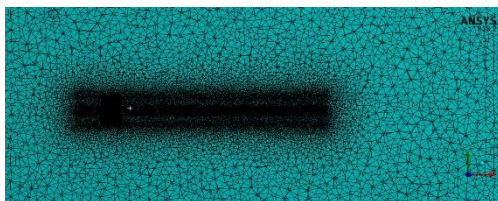
شکل ۹- میزان خطا ضریب گشتاور با داده های تجربی



شکل ۱۲- هندسه پروانه های اسکيو بالا با تعداد پره های مختلف

• تولید شبکه

جهت تحلیل جریان، شبکه بندی همانند پروانه DTMB4119 انجام شده است. در بخش لایه مرزی از ۱۰ لایه با ضخامت لایه اول ۰/۱ میلی متر و با نرخ رشد ۱/۱ به کار گرفته شده است. در شکل های ۱۳ و ۱۴ می توان شبکه پروانه دو پره و در شکل ۱۳ می توان شبکه بندی پروانه ۷ پره را مشاهده نمود.



فرکانس های مورد بررسی در بازه ۰ تا ۱۰۰ هرتز است. در واقع بعد از حل شدن معادلات آکوستیکی، فشار آکوستیکی بر حسب زمان به دست می آید که معمولاً با تبدیل فوریه از فضای زمانی به فضای فرکانسی منتقل می شود. تمامی تحلیل های آکوستیکی در فضای فرکانسی انجام شده است. مقایسه نتایج نویز در کار حاضر با داده های هانشین سئول و همکاران [۲۷] نشان می دهد که از فرکانس ۲۰ هرتز به بعد انطباق خوبی وجود دارد. در فرکانس های پایین نویز پروانه ترکیبی از نویزهای خطی و غیرخطی می باشد که با توجه به اینکه در این مقاله نویز استخراج شده از نوع گسسته (خطی) است، لذا در فرکانس های کمتر از ۲۰ هرتز خطای بیشتری مشاهده می شود.

۵- تحلیل هیدروآکوستیکی پروانه های اسکيو بالا^۱

در این بخش به تحلیل هیدروآکوستیک و نویز پروانه اسکيو بالا با در نظر گرفتن اثر تعداد پره های پروانه از ۲ تا ۷ پره که در کاربردهای دریایی متداول است، پرداخته خواهد شد. معمولاً در روندهای بدون سرنشین زیرسطحی^۲ از پروانه های ۲ و ۳ پره و در اژدرها ۴ و ۵ پره و در زیردریایی ها، ۵ تا ۷ پره استفاده

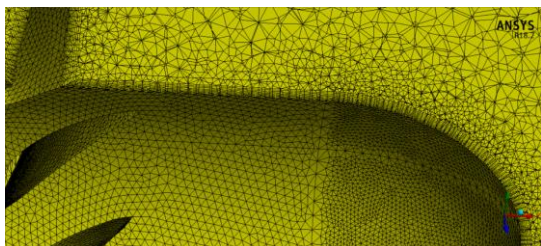
می شود. مشخصات هندسی پروانه اسکيو بالا در جدول ۱ موجود است. لازم به ذکر است، در شکل ۱۲ پروانه های ۲ تا ۷ پره مشاهده می شود.

جدول ۱- مشخصات هندسی پروانه اسکيو بالا

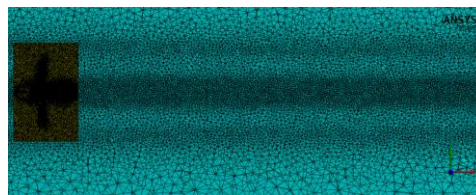
اسکيو بالا	نوع پروانه
۰/۳۰۴۸	قطر پروانه (متر)
۰/۶	نسبت سطح گسترش یافته
۰/۷ - ۰/۹ - ۱/۱	نسبت گام هندسی
۰/۲	نسبت هاب
۰/۳۲	ماکزیمم کورد نسبی
۳ - ۵ - ۷	تعداد پره
متغیر	زاویه ریک (درجه)
HSP-SRI-B	مقطع پره

² Autonomous underwater vehicle

¹ High skew propeller (HSP)



شکل ۱۵- نمایی برش خورده از شبکه بندی پروانه ۷ پره به همراه لایه مرزی

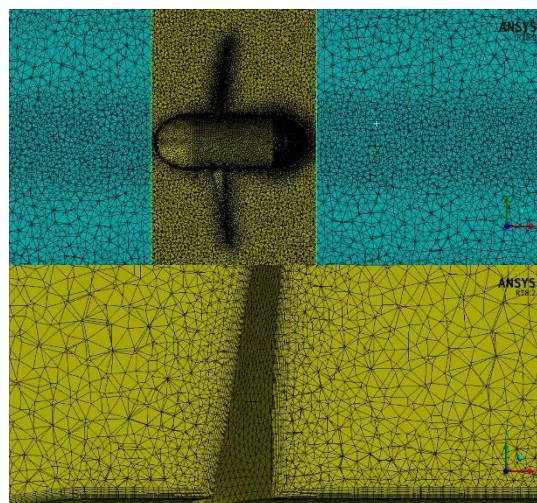


شکل ۱۳- نمایی از شبکه بندی پروانه دو پره

لایه مرزی ایجاد شده بر روی پروانه به صورت بزرگنمایی شده در شکل ۱۴ است.

• تنظیمات هیدرودینامیکی جهت شبیه سازی جریان حول پروانه اسکيو بالا

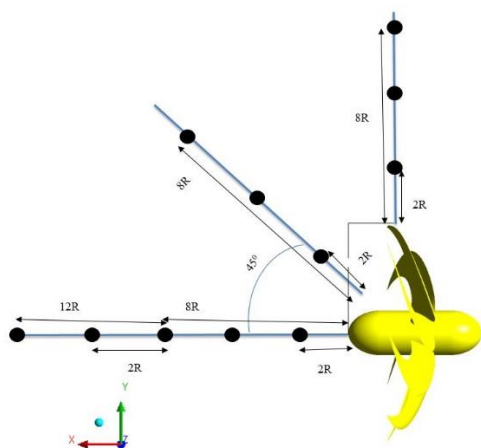
حل به صورت گذرا با بازه زمانی ۰/۰۰۱ ثانیه است که در هر بازه زمانی ۱۵ مرتبه تکرار می شود. مدل توربولانسی جهت شبیه سازی جریان هم مانند پروانه DTMB4119 مدل DES است. جهت بررسی پارامترهای ذکر شده در بررسی نویز انتشاری تمامی تحلیل های این قسمت در ضریب پیشروی ۰/۷ (N=843rpm, V=3m.s-1) است.



شکل ۱۴- شبکه بندی پروانه دو پره به همراه لایه مرزی

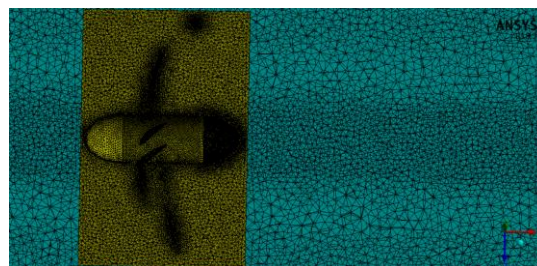
• تنظیمات هیدروآکوستیکی جهت شبیه سازی جریان حول پروانه اسکيو بالا

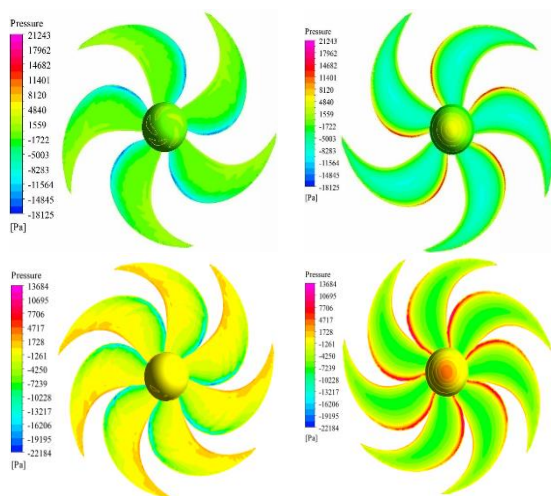
این تنظیمات نیز دقیقاً مشابه پروانه DTMB4119 صورت می گیرد با این تفاوت که فواصل هیدروفون ها مطابق شکل ۱۶ است.



شکل ۱۶- فواصل هیدروفون ها در پروانه های اسکيو بالا

شبکه بندی پروانه اسکيو بالا با ۷ پره به صورت شکل ۱۵ است که لایه مرزی در قسمت هاب و ریشه پروانه بزرگنمایی شده است.





شکل ۱۷- کانتور فشار بر روی پروانه با تعداد پره های متفاوت

• تحلیل ضرایب هیدرودینامیکی

نتایج عددی مربوط به ضرایب پیشروی، گشتاور و بازدهی پروانه اسکيو بالا (۵،۳ و ۷ پره) در گام های مختلف مطابق جدول ۲ است. ضرایب پیشروی و ممنوم با افزایش گام افزایش می یابد، اما ضریب بازدهی از گام ۰/۷ تا ۰/۹ افزایش و سپس کاهش یافته است که در جدول K_T ضریب تراست، K_Q ضریب گشتاور و η راندمان است.

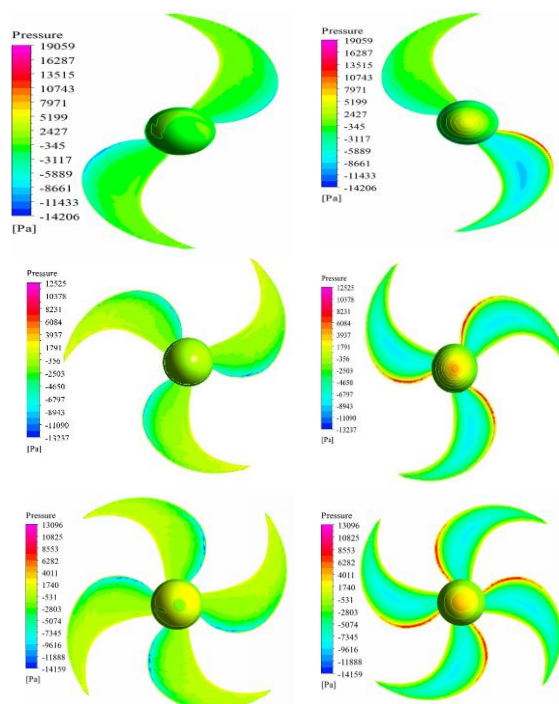
جدول ۲- ضرایب هیدرودینامیکی پروانه با تعداد پره های مختلف در گام ۰/۷

تعداد پره	K_T	$10 * K_Q$	η
۷ پره گام ۰/۷	۰/۰۵۳۵۸	۰/۱۷۵۹	۰/۳۳۹۵
۵ پره گام ۰/۷	۰/۰۴۶۵۸	۰/۱۳۶۱	۰/۳۸۱۳۸
۳ پره گام ۰/۷	۰/۰۴۰۷۳	۰/۰۹۶۵۵	۰/۴۷۰۴۲

گردابه های ایجاد شده در پروانه اسکيو بالا با تعداد پره های متفاوت مطابق شکل ۱۸ است. همانگونه که مشاهده می گردد با افزایش تعداد پره ها توزیع گردابه ها یکنواخت تر شده، اما از طرفی ویک جدا شده از لبه انتهایی و ناحیه نزدیک به نوک پره ها از لحاظ تعداد و ابعاد افزایش یافته است که این دو موضوع تاثیراتی عکس هم را بر روی میزان سطح نویز انتشاری پروانه دارند.

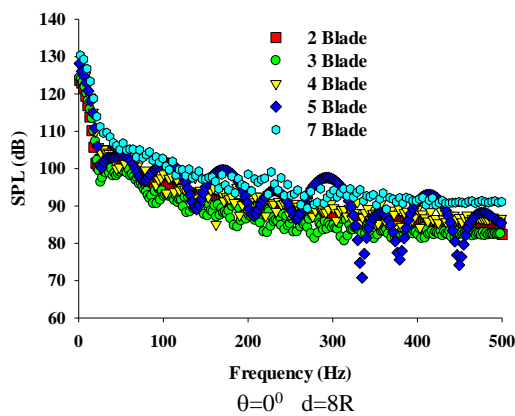
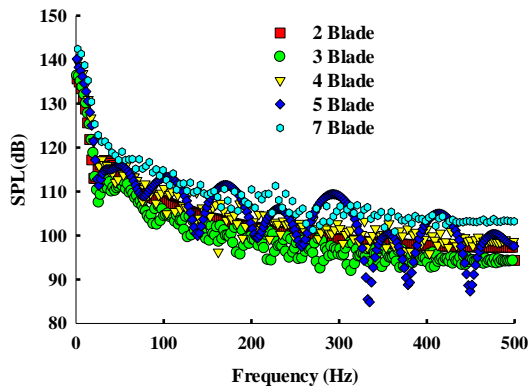
• تحلیل هیدرودینامیک پروانه با تعداد پره متفاوت

مطابق شکل ۱۷ با افزایش تعداد پره ها اختلاف فشار افزایش می یابد. در پروانه ۷ پره ای همانگونه که مشاهده می گردد، ناحیه زیادی از سطح جلویی پره ها دارای فشار ماکزیمم شده است که این موضوع سبب افزایش میزان تراست می گردد، اما نکته ای که وجود دارد این است که با افزایش تعداد پره های پروانه علاوه بر میزان تراست میزان گشتاور نیز افزایش یافته و لذا ممکن است که راندمان هیدرودینامیکی پروانه کاهش یابد. با افزایش تعداد پره های پروانه توزیع فشار بر روی سطح پره ها یکنواخت تر شده است. نکته مهم در طراحی پره پروانه، انتخاب پروفیل هندسی مقطع پره با گام هندسی و ضریب پیشروی مناسب است، بگونه ای که ناحیه نقاط سکون با ماکزیمم فشار بر روی لبه جلویی پره پروانه ایجاد گردد. این موضوع در کانتورهای توزیع فشار بخوبی مشاهده می گردد.

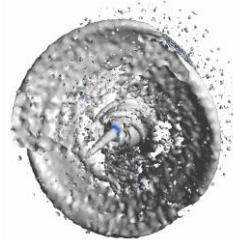


می‌گردد.

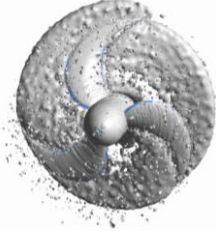
در خصوص فاصله هیدروفون ها از منبع انتشار صوت در راستای محوری می‌توان گفت که با دو برابر شدن فاصله از منبع انتشار صوت (که همان پروانه می باشد) میزان سطح نویز انتشاری حداقل ۱۰ دسیبل کاهش یافته است که این میزان برای پروانه‌های با تعداد پره‌های مختلف با کاهش تعداد پره‌ها افزایش می‌یابد.



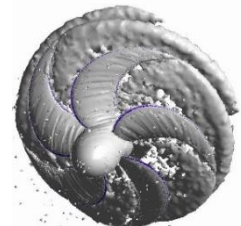
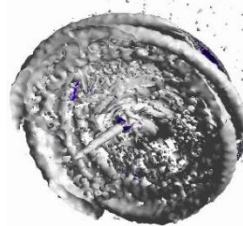
سطح جلویی پروانه



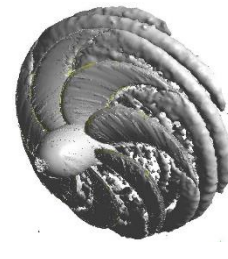
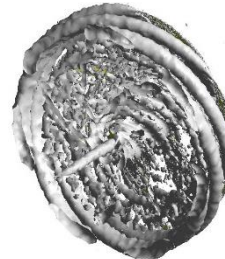
سطح پشتی پروانه



الف) پروانه ۳ پره



ب) پروانه ۵ پره



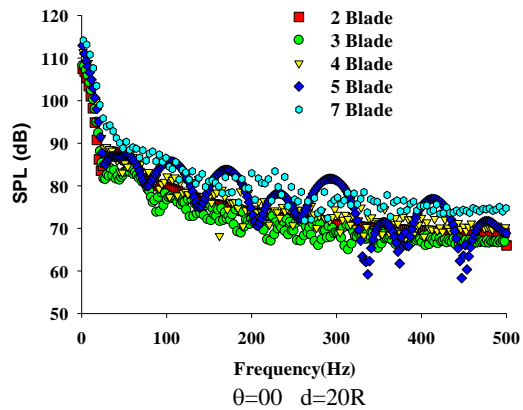
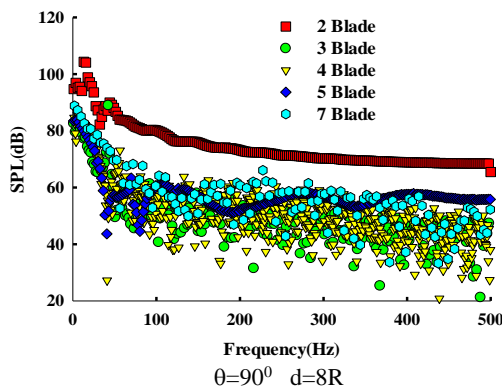
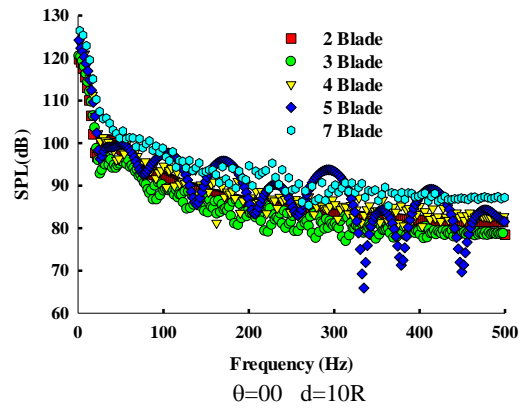
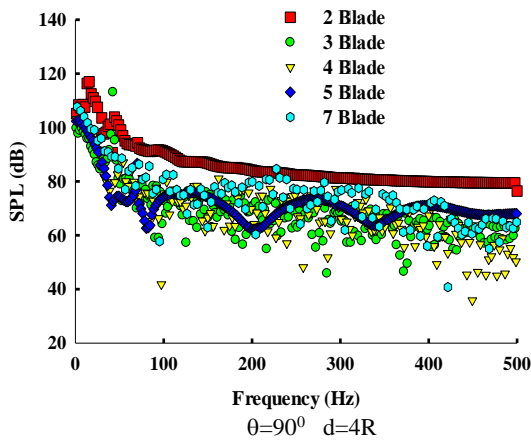
ج) پروانه ۷ پره

شکل ۱۸- گردابه‌های تولیدی از پروانه با تعداد پره-

های متفاوت در نسبت گام هندسی $P/D=0.7$

• تحلیل هیدروآکوستیک پروانه با تعداد پره-های متفاوت

جهت بررسی تأثیر تعداد پره‌ها بر روی نویز پروانه، پروانه‌های اسکویبالا از ۲ تا ۷ پره تحلیل شده است که نتایج بررسی‌های انجام شده مطابق شکل ۱۹ می‌باشند. در راستای محوری که در واقع همان راستای جریان سیال می‌باشد، با افزایش تعداد پره‌های پروانه میزان نویز انتشاری افزایش یافته است. هر چند که این میزان افزایش کمتر از ۵ دسیبل می‌باشد و در واقع نویزهای انتشاری ناشی از پروانه‌های با پره‌های متفاوت در یک محدوده تقریباً ۱۰ دسیبل نوسان می‌کنند، اما برای هیدروفون‌ها و گیرنده‌های نویز در راستای محوری به طور متوسط افزایش نویز حداکثر ۵ دسیبل مشاهده

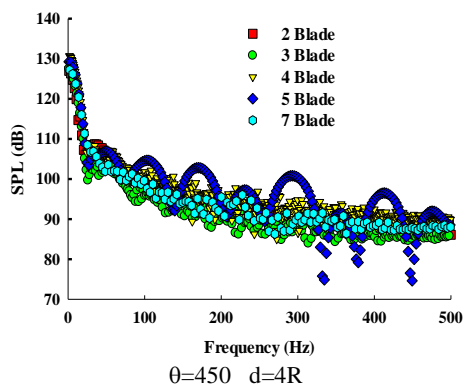


شکل ۲۰- تراز فشار صوتی در راستای Y برای پروانه‌هایی با تعداد پره متفاوت

شکل ۱۹- تراز فشار صوتی دریافتی برای پروانه با تعداد پره مختلف

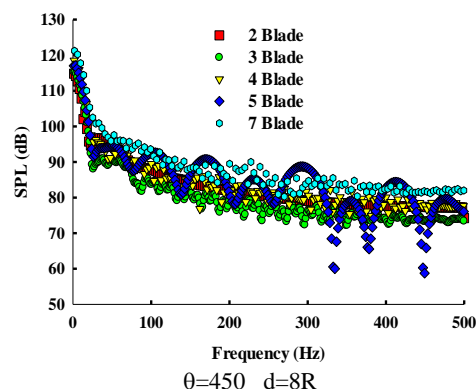
تراز فشار صوت دریافتی در راستای (۹۰ درجه) همانند شکل ۲۰ است که پروانه‌هایی در گام ۰/۷ و تعداد پره مختلف بررسی شده‌اند. در راستای عمود بر جهت جریان بجز پروانه ۲ پره میزان سطح نویز انتشاری سایر پروانه‌ها در یک محدوده مشخص نوسان می‌کنند. با دو برابر شدن فاصله از منبع نویز میزان نویز انتشاری در راستای عمود بر جهت جریان حدود ۱۰ دسیبل در تمامی پروانه‌ها کاهش یافته است.

تراز فشار صوت دریافتی در راستای محور Y (۹۰ درجه) همانند شکل ۲۰ است که پروانه‌هایی در گام ۰/۷ و تعداد پره مختلف بررسی شده‌اند. در راستای عمود بر جهت جریان بجز پروانه ۲ پره میزان سطح نویز انتشاری سایر پروانه‌ها در یک محدوده مشخص نوسان می‌کنند. با دو برابر شدن فاصله از منبع نویز میزان نویز انتشاری در راستای عمود بر جهت جریان حدود ۱۰ دسیبل در تمامی پروانه‌ها کاهش یافته است.



نویز همین پروانه را شبیه سازی کرده‌اند. با مقایسه نتایج عددی با داده‌های هانشین سنول [۲۷] مشخص گردید که نتایج هیدروآکوستیکی SPL و ورتیسیتی تطابق خوبی با داده های مرجع دارند. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر را می‌توان در بندهای زیر خلاصه نمود:

- روش حجم محدود روش مناسبی برای تخمین نویز انتشاری در پروانه‌های دریایی است. میزان خطای این روش در فرکانس‌های پایین بیشتر است و با افزایش میزان فرکانس میزان خطای سطح نویز انتشاری کاهش یافته است.
- میزان سطح نویز انتشاری بر اساس موقعیت هیدروفون‌ها که در راستای جریان یا در راستای عمود بر جریان باشند، حتی در فواصل مشابه نیز متفاوت است.
- با افزایش تعداد پره‌های پروانه از ۲ تا ۷ پره و با ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترهای هندسی و جریانی، سطح نویز انتشاری افزایش یافته است.
- با افزایش تعداد پره‌های پروانه، میزان افزایش سطح نویز انتشاری در راستای جریان حداکثر ۱۰ دسیبل است.
- با افزایش فاصله از منبع نویز میزان سطح نویز انتشاری کاهش یافته که با دو برابر شدن میزان فاصله میزان کاهش نویز حدود ۱۰ دسیبل است.



شکل ۲۱- تراز فشار صوتی در راستای 45 درجه برای پروانه‌هایی با تعداد پره متفاوت

۶- نتیجه گیری و جمع بندی

در این مقاله تحلیل عددی با استفاده از روش حجم محدود و به کمک نرم افزار انسیس-فلونت انجام شده است. جهت شبکه بندی دامنه حل از روش مش زنی بدن نفوذ استفاده شده است که سبب بالا بردن حجم شبکه در نواحی که بیشترین حساسیت وجود دارد شده و با شبکه بندی دقیق‌تر پدیده‌های فیزیکی از جمله گردابه‌ها، ویک‌ها و ... بهتر شناسایی شده است که از طرفی حجم کل دامنه کاهش یافته و علاوه بر کیفیت بالای شبکه، هزینه محاسبات هم کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه نقطه طراحی پروانه در ضریب پیشروی ۰/۸۳۳ است؛ لذا بیشترین بازده مکانیکی در این ضریب پیشروی رخ می‌دهد. جهت اعتبار سنجی تحلیل هیدروآکوستیکی، پروانه DTMB4119 کار حاضر از یافته‌های هانشین سنول [۲۷] و همکاران استفاده شده است که دقیقاً

مراجع

- [5] A. Brooker, V. Humphrey (2016) Measurement of radiated underwater noise from a small research vessel in shallow water. O Eng J, 120: 182-189.
- [6] T. Kim, J. Jeon, S. Chu, S. Kim, W. Joo (2016) Numerical and experimental predictions of underwater propeller radiated noise. Aco 22ICA, Vol. 28, ASA, pp. 070004.
- [7] G. Tani, D. Villa, S. Gaggero, M. Viviani, P. Ausonio, P. Travi, G. Bizzarri, F. Serra (2017) Experimental investigation of pressure pulses and radiated noise for two alternative designs of the propeller of a high-speed craft, O Eng J, 132: 45-69.
- [8] J. Park, W. Seong (2017) Novel scaling law for estimating propeller tip vortex cavitation noise from model experiment. J Hydro, 29: 962-971.
- [1] D. Ross (1987) Mechanics of Underwater Noise. Peninsula, Los Altos, CA.
- [2] D. Caridi (2008) Industrial CFD simulation of aerodynamic noise. in Università degli Studi di Napoli Federico II.
- [3] H. Haimov, V. Gallego, E. Molinelli, B. Trujillo (2016) Propeller acoustic measurements in atmospheric towing tank. O Eng J, 120: 190-201.
- [4] B. Aktas, M. Atlar, S. Turkmen, W. Shi, R. Sampson, E. Korkut, P. Fitzsimmons (2016) Propeller cavitation noise investigations of a research vessel using medium size cavitation tunnel tests and full-scale trials. O Eng J, 120: 122-135.

- [18] M.R. Naseer, E. Uddin, K. Rana, S. Zahir (2017) Computational validation of hydrodynamic and hydroacoustic performance of marine propeller. 14th Conf App Sci Tech (IBCAST), IEEE, pp. 569-574.
- [19] H. Ghassemi, M. Gorji, J. Mohammadi (2018) Effect of tip rake angle on the hydrodynamic characteristics and sound pressure level around the marine propeller. *Sh Offsh Struc*, 13: 759-768.
- [20] M.S.U. Khalid, I. Akhtar, B. Wu (2019) Quantification of flow noise produced by an oscillating hydrofoil. *O Eng J*, 171: 377-390.
- [21] B. Zhang, Y. Xiang, P. He, G.-j. Zhang (2019) Study on prediction methods and characteristics of ship underwater radiated noise within full frequency. *O Eng J*, 174: 61-70.
- [22] M. Kaltenbacher (2018) *Computational Acoustics*, Springer.
- [23] R. Kotapati-Apparao, K.D. Squires, J.R. Forsythe (2004) Prediction of the Flow over an Airfoil at Maximum Lift. 42nd AIAA.
- [24] R.B. Kotapati-Apparao, K.D. Squires, J.R. Forsythe (2003) Prediction of a prolate spheroid undergoing a pitchup maneuver. IN AIAA PAPER 2003-0269 41 st aerospace sciences meeting and exhibit, citeseer.
- [25] P.R. Spalart (2000) Strategies for turbulence modelling and simulations. *Int J H F Flow*, 21: 252-263.
- [26] P.R. Spalart (1997) Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach. *Proce first AFOSR int conf DNS/LES*, Greyden Press.
- [27] H. Seol, J.-C. Suh, S. Lee (2005) Development of hybrid method for the prediction of underwater propeller noise. *J Sou Vib*, 288: 345-360.
- [28] Ehsan Yari, Hassan Ghassemi. (2013) Numerical analysis of sheet cavitation on marine propellers, considering the effect of cross flow, *Int J Nav Arch O Eng*, 5: 546-558.
- [9] B. Aktas, M. Atlar, P. Fitzsimmons, W. Shi (2018) An advanced joint time-frequency analysis procedure to study cavitation-induced noise by using standard series propeller data. *O Eng J*, 170: 329-350.
- [10] M.J. Lighthill (1952) On sound generated aerodynamically. I. General theory, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Math Phys Sci*, 211: 564-587.
- [11] H. Seol, B. Jung, J.-C. Suh, S. Lee (2002) Prediction of non-cavitating underwater propeller noise. *J Sou Vib*, 257: 131-156.
- [12] S. Kim, Y. Niu, Y.-J. Kim (2013) Computational aeroacoustic modeling of open fan and comparison of predicted and experimental noise fields. *Inter noise con and conf*, Vol. 246, Institute of Noise Control Engineering, pp. 970-977.
- [13] J.-S. Jang, H.-T. Kim, W.-H. Joo (2014) Numerical study on non-cavitating noise of marine propeller. *INT NOIS Con Conf*, Vol. 249, Institute of Noise Control Engineering, pp. 3017-3022.
- [14] S. Zeng, X. Du (2015) Numerical simulation and analysis of non-cavitation noise line-spectrum frequency of underwater counter-rotation propeller. *Int Indu Infor Comp Eng Conf*, Atlantis Press.
- [15] M.C. Özden, A.Y. Gürkan, Y.A. Özden, T.G. Canyurt, E. Korkut (2016) Underwater radiated noise prediction for a submarine propeller in different flow conditions. *O Eng J*, 126: 488-500.
- [16] Y. Wei, Y. Shen, S. Jin, P. Hu, R. Lan, S. Zhuang, D. Liu (2016) Scattering effect of submarine hull on propeller non-cavitation noise. *J Sou Vib*, 370: 319-335.
- [17] S. Sezen, A. Dogrul, S. Bal (2016) Investigation of marine propeller noise for steady and transient flow. *PROCE BOOK*, 149.