

تعیین دامنه حل محاسباتی متناظر با مشخصات هندسی پروانه دریایی با استفاده از روش عددی

محمد احمدزاده طلا تپه^۱، محمدرضا نگهداری^۲، علی مراد منصوری^۳

m_ahmadzadeh56@yahoo.com

۱- استادیار، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

۲- عضو هیات علمی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

چکیده

در این تحقیق مدل‌سازی پروانه دریایی در فضای سه بعدی با استفاده از نرم افزار تجاری انسیس-فلوئنت انجام میگردد که تحلیل دینامیک سیالات برای دو نمونه از پروانه با مشخصات متفاوت از پروانه سری B و مدل استاندارد ۳۶۸۶ انجام شده است. در این تحقیق با در نظر گرفتن ضرایب بی بعد تراست (K_T)، گشتاور (K_Q) و راندمان (η) بر حسب ضریب پیشروی (J)، عملکرد پروانه مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به تحلیل‌های انجام شده ضرایب تراست و گشتاور نسبت به نتایج آزمایشگاهی با تخمین مناسبی محاسبه گردیده است. تطابق نتایج تحلیل عددی با اعمال مدل توربولانس در شبیه سازی های انجام شده با در نظر گرفتن داده های آزمایشگاهی نشان داده شده است. در این تحقیق با استفاده از سه مدل پروانه و روش عددی RANS، به بررسی عملکرد سیستم رانش در شرایط متفاوت پرداخته شده است و قابلیت این روش عددی را در پیش‌بینی ویژگی‌های سیستم ارزیابی می‌نماییم. همچنین در این مطالعه، جهت یافتن ابعاد دامنه‌ی محاسباتی مناسب در شبیه‌سازی پروانه کاملاً مغروق، ۲۰ دامنه محاسباتی با ابعاد متفاوت مورد مطالعه عددی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: پروانه سری B، منحنی‌های عملکردی، ضریب تراست، ضریب گشتاور، دینامیک سیالات محاسباتی، مدل آشفتگی.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۷/۰۱/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۷/۰۶/۱۵

۱ - مقدمه

ویسکوز مورد توجه قرار گرفته است. هر چند روش‌های توسعه یافته بر مبنای دینامیک سیالات محاسباتی توانایی تحلیل هیدرودینامیکی سیستم‌های رانش را دارند اما دارای مشکلاتی نظیر وابسته بودن روش‌های ویسکوز به اندازه و نوع شبکه بندی، وابسته بودن روش‌های ویسکوز به دقت مدل‌های آشفتگی جریان، مدل سازی قسمت‌های دوار سیستم و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته تولید شبکه و همچنین زمان محاسباتی بالا و نیاز استفاده از تکنیک‌های پردازش موازی می‌باشد.

چن^۳ و همکاران [۱] در سال ۱۹۹۹ با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی برای پروانه P4381 با فرم استاندارد، تحلیل هیدرودینامیکی مشخصات سیستم رانش را ارائه نموده‌اند. در مقاله ارائه شده توسط لارسون^۴ و همکاران [۲] در سال ۲۰۰۶ بهینه سازی جانمایی پروانه و بدنه بر اساس معادلات ناویراستوکس متوسط گیری شده مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. در مقاله ارائه شده توسط گراسی^۵ و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۷ آنالیز عددی مشخصات عملکردی پروانه با استفاده از تئوری سطوح بالارونده Lifting Surface ارائه گردیده است. دیمارسکی^۶ [۴] در سال ۲۰۰۸ با استفاده از مدل تئوری و روش‌های عددی که با کامپیوترهای SOLGA اجرا گردیده است جریان اطراف پروانه شناور به همراه پیش بینی وقوع کاویتاسیون مورد تحلیل و ارزیابی قرار داده‌اند. در مقاله ارائه شده توسط توکو^۷ و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۸ مطالعه عددی جریان اطراف بدنه با در نظر گرفتن آثار پروانه انجام شده است. در این تحقیق جریان ویسکوز در اطراف یک شناور با طول ۱۲۵ متر و با استفاده از سیستم رانش پروانه از بین پروانه های موجود در سری B در نظر گرفته شده است.

یاماسکی^۸ [۶] در سال ۲۰۰۹ تأثیر کنترل کاویتاسیون با استفاده از توزیع بارگذاری بر روی نوک پروانه، به عنوان یک پارامتر در طراحی پروانه تشریح نموده است. آزمایش‌ها و تحلیل‌های عددی مختلفی جهت توسعه یک ابزار مناسب برای پروانه‌های دریایی با عملکرد بالا انجام شده است.

پروانه شناورها از المان‌های مهم جهت عملکرد مناسب برای شناور می‌باشد. پره‌های پروانه دارای هندسه پیچیده‌ای هستند و بنابراین مطالعه جریان حول پروانه‌ها دارای اهمیت می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت آنالیز عملکرد پروانه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش مرسوم جهت دستیابی به منحنی‌های عملکردی پروانه تست مدل پروانه در تونل کاویتاسیون در شرایط آب آزاد می‌باشد. تست مدل هنوز به عنوان یک روش مطمئن و بسیار مهم در تحلیل عملکرد هیدرودینامیکی سیستم‌های رانش معمولی استفاده می‌شود. سیستم‌های رانش نیازمند روش‌های تست مدل و تکنیک‌های جدید اندازه گیری می‌باشد. تاکنون تست‌های آزمایشگاهی مختلفی بر روی سیستم‌های رانش صورت پذیرفته و مدل‌های رگرسیونی و روش‌هایی برای تبدیل نتایج مدل به اندازه واقعی پیشنهاد و ارائه شده است. بیشتر این آزمایش‌های تجربی در شرایط جریان مستقیم انجام پذیرفته است. از آنجایی که این گونه تست‌ها علاوه بر زمان و هزینه زیاد، نیازمند دسترسی به تونل کاویتاسیون می‌باشد، یک روش جایگزین استفاده از روش‌های عددی است.

روش‌های توسعه یافته بر مبنای دینامیک سیالات محاسباتی امروزه یک ابزار مناسب برای تحلیل هیدرودینامیکی سیستم‌های رانش شناورها محسوب می‌شود. به طور کلی روش‌های بکار گرفته شده بر مبنای دینامیک سیالات محاسباتی به دو دسته جریان غیر ویسکوز^۱ و جریان ویسکوز^۲ تقسیم بندی می‌شوند. روش‌های غیر ویسکوز بر مبنای تئوری پتانسیل شکل گرفته‌اند، در حالی که مبنای ایجاد روش‌های ویسکوز استفاده از حل عددی معادلات ناویر- استوکس و معادله پیوستگی است. تحلیل هیدرودینامیکی پروانه‌های نیازمند استفاده از شبکه محاسباتی دقیق در اطراف هندسه‌های پیچیده است. امروزه با پیشرفت سرعت ابزارهای محاسباتی و بهبود تکنیک‌های شبکه بندی تحقیقات متعددی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی بر روی پروانه‌های دریایی و به ویژه پروانه صورت پذیرفته است. با توجه به پیچیدگی‌های هندسی خاص سیستم‌های رانش در چند سال اخیر استفاده از روش

³ Chen

⁴ Larsson

⁵ Grassi

⁶ Dymarski

⁷ Tocu

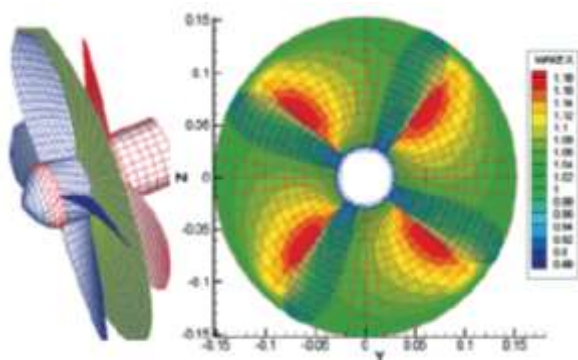
⁸ Yamaski

¹ Inviscid-Flow

² Viscous-Flow

ارزیابی قرار گرفته است. نتایج ارائه شده در این تحقیق شامل ضرایب نیروی تراست و گشتاور کل می باشد و نتایج عددی به دست آمده تطابق مناسبی با داده های موجود آزمایشگاهی را نشان می دهد (شکل (۱)).

مقاله ارائه شده توسط یئو^۵ و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۴ توسعه روش های محاسباتی جهت طراحی پروانه شناورها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. در این مقاله با استفاده از نرم افزارهای محاسباتی ابتدا هندسه سه بعدی پروانه ایجاد گردیده و سپس با استفاده از آنالیز عددی CFD در حالت های مختلف هندسی پروفایل نظیر تعداد پره ها، نسبت قطر به گام، زاویه Rake و زاویه Skew انجام شده است. نتایج تحلیل نشان می دهد که پروانه هایی با تعداد ۳ پره عملکرد مناسب تری را ایجاد نموده است و همچنین با افزایش زاویه Skew مشکلات چرخشی را می توان کاهش داد. همچنین در این تحقیق اثر ریز نمودن شبکه ها به صورت محلی بر اساس اندازه سلول ها بر روی نتایج مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. فعالیتهای Belhenniche و همکاران [۱۳] در بررسی فاکتورهای هندسی موثر بر عملکرد هیدرودینامیکی پروانه ها از دیگر فعالیتهای موجود در این زمینه به شمار می رود. همچنین فعالیتهای Shamsi و همکاران [۱۴] در مقایسه دو روش المان مرزی (BEM) و روش متوسط گیری رینولدز معادلات ناویر-استوکس (RANS) در بررسی عددی عملکرد هیدرودینامیکی پروانه های دریایی و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی حاکی از همخوانی مطلوبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی بوده است.



شکل (۱) نمایش نتایج در مرجع [۱۱] جهت تحلیل مشخصات عملکردی پروانه CRP.

در مقاله ارائه شده توسط آرازگلدی و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۹ تحلیل جریان اطراف دو نمونه از پروانه به صورت عددی و تجربی مورد ارزیابی قرار گرفته است. جهت مدل سازی پدیده کاویتاسیون ابتدا شبیه سازی عددی بر روی هیدروفویل NACA0015 صورت پذیرفته است و قابلیت نرم افزار تست گردیده است و سپس در شرایط مختلف دو نمونه پروانه به صورت عددی و تجربی جهت مشاهده پدیده کاویتاسیون مورد تحلیل قرار گرفته است.

همی^۱ [۸] در سال ۲۰۱۳ شبیه سازی عددی بر پایه معادلات RANS و همچنین محاسبات تئوری برای تعیین مشخصات عملکردی یک نمونه از پروانه SPP در شرایط آب آزاد و همچنین مقایسه با نتایج تست مدل ارائه داده است. در این تحقیق به منظور حفظ دقت محاسباتی و رفتار هوادهی و جلوگیری از نفوذ عددی^۲ با ایجاد مش های با کیفیت و تعیین شرایط محاسباتی مناسب، نتایج خوبی به دست آمده است. در این گزارش با توجه محاسبات عددی و معادلات چرخش پروانه در حالت ۶ درجه آزادی (ممان و نیرو) بر پایه معادلات RANS و معادلات سطح آزاد VOF مطابقت بسیار خوبی با نتایج تست تجربی ارائه گردیده است. در این مقاله همچنین تأثیر هندسه پروانه SPP بر روی عملکرد و راندمان سیستم رانش در حالت ها و شرایط مختلف سطح آزاد ارائه گردیده است.

مقاله ارائه شده توسط ریچیپکما^۳ و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۳ شبیه سازی عددی اندرکنش پروانه با مجاورت بدنه شناور و تعیین ویک مؤثر با استفاده از راهبرد RANS-BEM انجام شده است. آلهو^۴ [۱۰] نیز در سال ۲۰۱۳ با استفاده از نرم افزار ANSYS شبیه سازی عددی پروانه در شرایط مختلف عملکردی انجام داده است و نتایج به دست آمده مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

در مقاله ارائه شده توسط قاسمی و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روش المان مرزی (BEM) برای مدل سازی عملکرد هیدرودینامیکی یک پروانه CRP انجام شده است. در این تحقیق جریان ورودی و خروجی پروانه به صورت غیر ویسکوز در نظر گرفته شده است و با محاسبه جریان های القایی، اندرکنش بین پروانه ها مورد

¹ Himei

² Numerical Diffusion

³ Rijpkema

⁴ Alho

⁵ Yeo

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

$$\frac{\partial (\rho \vec{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla (\bar{\tau}) \quad (2)$$

که \vec{v} بردار سرعت، P فشار استاتیک و $\bar{\tau}$ تانسور تنش می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (3)$$

در رابطه فوق μ ویسکوزیته و I تانسور واحد است. با استفاده از روش متوسط گیری، معادلات ناویر-استوکس به فرم زیر تبدیل می شوند:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] \quad (5)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j})$$

در رابطه (۵)، عبارت $-\rho \overline{u_i u_j}$ تانسور تنش رینولدز است. مدل سازی تانسور تنش، نسبتاً مشکل می باشد زیرا برای تعیین آن نیاز به اطلاعات دقیقی در خصوص ساختار پدیده توربولانس در سیال داریم که غالباً در دسترس نیست. لذا برای تعیین اندازه تنش های رینولدز باید از یکی از مدل های توربولانسی موجود استفاده کرد. این مدل ها به سه دسته کلی صفر معادله ای، یک معادله ای و دو معادله ای تقسیم می شوند. در مدل صفر معادله ای، تنها از معادلات جبری استفاده می شود در حالی که در مدل های یک معادله ای و دو معادله ای به ترتیب از یک و دو معادله انتقال استفاده می گردد. انتخاب مدل توربولانسی به فیزیک جریان مسئله مورد بررسی، میزان دقت مورد نیاز، امکانات محاسباتی و میزان زمان در اختیار برای رسیدن به جواب منطقی وابسته است.

۳- مدل سازی حرکت دورانی

در پژوهش حاضر جهت اعمال چرخش پروانه حول محور آن، یک استوانه کوچک دور پروانه اختیار می شود، بطوریکه در داخل این استوانه از فرض محور مختصات دورانی که همراه پروانه در چرخش است استفاده می شود و بنابراین سرعت نسبی پروانه نسبت به این ناحیه صفر است. نمونه ای از دامنه محاسباتی اختیار شده همراه با ناحیه ای که فرض مذکور در بالا به آن اعمال می شود در شکل (۲) نشان داده

فعالیت دیگر توسط Zhao و همکاران [۱۵ و ۱۶] در بررسی عملکرد هیدرودینامیکی پروانه در جریان غیردائم برای یک پروانه دارای ۴ پره و همچنین بررسی آثار امواج دریا بر حالت های عملکردی هیدرودینامیکی پروانه از فعالیت های ارائه شده در سال های اخیر به شما می رود.

۲- معادلات حاکم بر جریان سیال

در این تحقیق معادلات حاکم بر مسئله، با روش حجم محدود بر پایه معادلات متوسط گیری شده ناویر-استوکس حل گردیده است. روش حل انتخاب شده برای حل معادلات بقای جرم و مومنتوم، روش حل تفکیکی^۱ می باشد که در آن هر یک از معادلات به طور جداگانه حل می شوند، بنابراین نیازمند حافظه و زمان کمتری می باشد. خطی سازی معادلات در روش حل تفکیکی با استفاده از روش ضمنی^۲ انجام گرفته است. جهت گسسته سازی معادله مومنتوم، در میدان حل، از روش آپویند مرتبه یک استفاده شده است. معادلات به صورت گسسته بر روی سلول های شبکه توسط روش حجم محدود حل می شود.

گسسته سازی برای ترم مومنتوم، ترم های انرژی جنبشی آشفتگی^۳ و نرخ اضمحلال آشفتگی^۴ توسط آپویند مرتبه یک انجام شده است. برای حل هم زمان میدان سرعت و فشار از الگوریتم سیمپل^۵ و برای تسریع در همگرایی از روش چند شبکه ای استفاده شده است. به منظور شبیه سازی جریان توربولانس، از مدل دو معادله ای آر ان جی-کا اپسیلون استفاده شده است. لازم به ذکر است که در توربوماشین ها به دلیل تغییرات ناگهانی کرنش استفاده از مدل استاندارد k-ε جایز نیست و بایستی مدل آر ان جی-کا اپسیلون را بکار برد.

در تحقیق های اخیر روش های مختلفی همانند حل مستقیم معادلات ناویر-استوکس یا حل معادلات متوسط گیری شده ناویر - استوکس پیشنهاد شده است. در این مطالعه عددی محاسبات با استفاده از ماژول فلونت نرم افزار انسیس بر پایه معادلات متوسط گیری شده ناویر - استوکس صورت پذیرفته است. معادلات حاکم بر جریان برای بقای جرم و مومنتوم در این روش عبارت اند از:

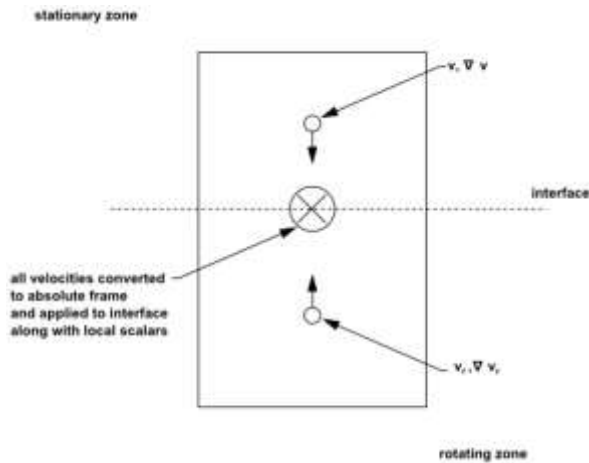
¹ Segerated

² Implicit

³ Turbulent Kinetic Energy

⁴ Turbulent Dissipation Rate

⁵ Simple



شکل (۴) نحوه عملکرد روش MRF در مرزهای نواحی ثابت و متحرک.

۴- شبکه بندی، شرایط مرزی و صحت سنجی

در حالت آب آزاد، پروانه در حالت خود رانش^۳ قرار دارد و بدنه شناور تأثیری بر عملکرد پروانه ندارد، در نتیجه جریان ورودی به پروانه یکنواخت می باشد. هدف از شبیه سازی جریان پیرامون پروانه ها در حالت آب آزاد، استخراج منحنی های عملکرد پروانه ها، ارزیابی هیدرودینامیکی آنها و توزیع فشار بر روی سطوح پره می باشد. نیل به این هدف، مستلزم استانداردسازی دامنه محاسبات و انتخاب اندازه مناسب شبکه حل مسئله و حجم کنترل بهینه اطراف پروانه می باشد. در این شبیه سازی ها بایستی جذب گشتاور توسط پروانه و تحویل تراست بر اثر اختلاف فشار در دو سمت پره ها نیز در نظر گرفته شود. مشخصات عملکردی پروانه را می توان به ترتیب به صورت ضرایب بدون بعد ضریب پیشروی، ضریب تراست، ضریب گشتاور و راندمان به صورت زیر تعریف نمود:

$$J = \frac{V_A}{nD} \quad (۶)$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (۷)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (۸)$$

$$\eta = \frac{K_T \cdot J}{K_Q \cdot 2\pi} \quad (۹)$$

که در روابط فوق V_A سرعت پیشروی سیال، n سرعت دورانی، D قطر پروانه، T تراست پروانه، ρ چگالی سیال و Q گشتاور پروانه می باشد. ضریب پیشروی پروانه ترکیبی

شده است. جهت مدل سازی حرکت چرخشی در مدل سازی ناحیه دوار در نرم افزار فلوئنت و وارد کردن آثار شتاب کوریولیس در معادلات حاکم بر جریان سه نوع انتخاب وجود دارد (قاسمی و همکاران ۱۳۸۴):

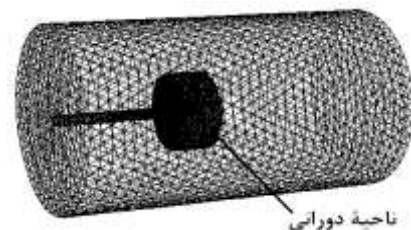
(۱) استفاده از روش فریم مرجع چرخان (RRF)^۱

(۲) استفاده از روش فریم مرجع متحرک (MRF)^۲

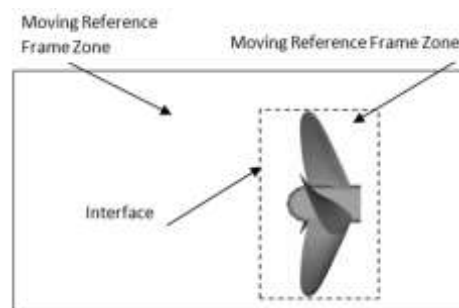
(۳) استفاده از روش شبکه های لغزان (SLD)

روش MRF ساده ترین روش برای مدل سازی چرخش جریان حول پروانه است که از کارایی خوبی برخوردار است. در این روش می بایست مطابق شکل (۳)، میدان حل پروانه را به نواحی ثابت و متحرک تقسیم کرد. همان طور که مشاهده می شود خطوط خطچین مرز واسط بین نواحی ثابت و متحرک است.

روش MRF از فرض شرایط یکنواخت در مرزهای واسط بهره می برد. با این فرض سرعت در مرزها در هر کدام از نواحی ثابت و متحرک یکسان است و شبکه ایجاد شده در میدان حرکت نمی نماید. در این حالت در مرزهای بین دو ناحیه بردارهای سرعت و گرادیان سرعت تبدیل می گردند در حالی که مقادیر پارامترهای اسکالر همانند دما، فشار، چگالی و... در مرزها بدون هیچ تغییری از المان های مجاور انتقال می یابند (شکل (۴)).



شکل (۲) ناحیه دورانی انتخاب شده برای اعمال چرخش پروانه.



شکل (۳) میدان حل حول پروانه.

^۱ Rotating Reference Frame

^۲ Moving Reference Frame

^۳ Self-Propulsion

از چرخش ورودی پروانه و سرعت پیشروی سیال می‌باشد. با ثابت نگه داشتن سرعت چرخشی پروانه و تغییر دادن سرعت پیشروی، می‌توان ضریب پیشروی و همچنین خصوصیات عملکردی سیستم رانش را در محدوده مختلف ضریب پیشروی تعیین نمود.

جهت اعتبارسنجی نتایج، مدل‌سازی و تحلیل هیدرو دینامیکی پروانه سری B با استفاده از نرم‌افزار فلونت بر پایه معادلات متوسط گیری شده ناویر- استوکس انجام گردیده و منحنی‌های عملکرد به دست آمده از تحلیل فلونت با منحنی‌های عملکرد به دست آمده از آنالیز رگرسیون چندجمله‌ای سری B مقایسه گردید. پروانه سری B ابتدا در سال ۱۹۴۰ توسط تروست^۱ ارائه گردید و در سال ۱۹۷۴ ون اوسانن اوستروولد^۲ این پروانه‌ها را به روش آنالیز رگرسیون چندجمله‌ای، به صورت عددی تحلیل و فرمول ریاضی برای آن‌ها ارائه نمود [۱۴].

جدول (۱) مشخصات مقطع پره مدل سری B

r/R	CID	PID
0/2	0/23066	0/81916
0/3	0/26393	0/88217
0/4	0/29148	0/94519
0/5	0/3118	0/99247
0/6	0/32328	1/0082
0/7	0/32377	1/0082
0/8	0/30738	1/0082
0/9	0/25902	1/0082
1	0/00295	1/0082

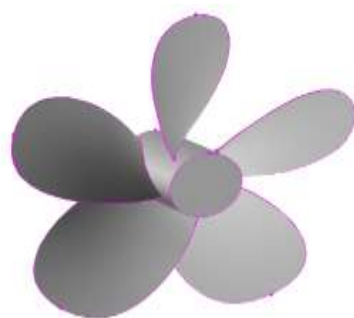
در روش آنالیز رگرسیون چندجمله‌ای، ضرایب گشتاور و تراست به صورت توابعی از تعداد پره‌ها، نسبت سطح پره، نسبت گام و ضریب پیشروی بیان گردیده است:

در روش آنالیز رگرسیون چندجمله‌ای، ضرایب گشتاور و تراست به صورت توابعی از تعداد پره‌ها، نسبت سطح پره، نسبت گام و ضریب پیشروی بیان گردیده است:

$$K_T = \sum_{n=1}^{39} C_{Tn} J^{S_n} \left(\frac{P}{D}\right)^m \left(\frac{A_E}{A_o}\right)^{un} Z^{vn} \quad (10)$$

$$K_Q = \sum_{n=1}^{47} C_{Qn} J^{S_n} \left(\frac{P}{D}\right)^m \left(\frac{A_E}{A_o}\right)^{un} Z^{vn} \quad (11)$$

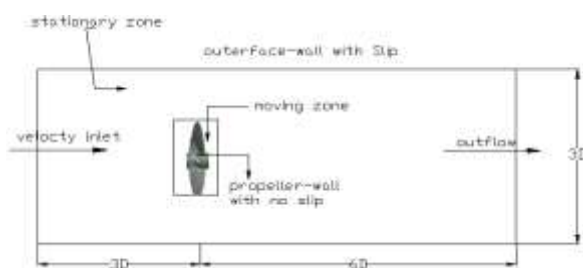
در آن C_{Tn} ، C_{Qn} ، S_n ، un ، vn به ترتیب ضرایب رگرسیونی ضرایب تراست و گشتاور، توان‌های ضریب پیشروی، نسبت سطح پره، نسبت گام و تعداد پره می‌باشد. مشخصات مقطع پره مدل سری B در جدول (۱) نشان داده شده است. قطر پروانه ۰/۱۶ متر و نسبت سطح گسترش یافته ۰/۷۲ می‌باشد. مدل هندسی سری B و شبکه بندی سطحی و دامنه محاسباتی آن به ترتیب در شکل های ۵ تا ۸ نشان داده شده است.



شکل (۵) مدل هندسی پروانه شماره ۱- سری B.



شکل (۶) نمایش شبکه بندی ایجاد شده بر روی پروانه سری B.

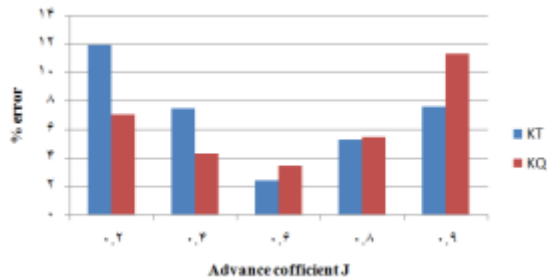


شکل (۷) مدل سازی دامنه محاسباتی.

به دلیل پیچیدگی هندسه پروانه استفاده از شبکه بندی سازمان یافته دشوار می باشد، بنابراین از شبکه غیر سازمان یافته استفاده می‌شود. از مزایای شبکه غیر سازمان یافته قابلیت تطبیق موضعی شبکه با جواب مسئله می‌باشد. تطبیق فیزیکی باعث می‌شود که در نواحی که تغییرات خواص جریان زیاد است، شبکه ریزتر و در سایر مناطق شبکه درشت تر باشد. تولید شبکه در نرم‌افزار « Ansys

¹ Troost

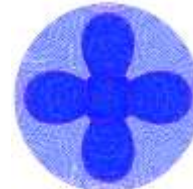
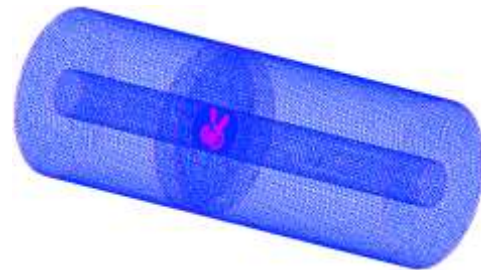
² Van Oosanen Oosterveld



شکل (۱۱) درصد خطای موجود در ضریب تراست و گشتاور.

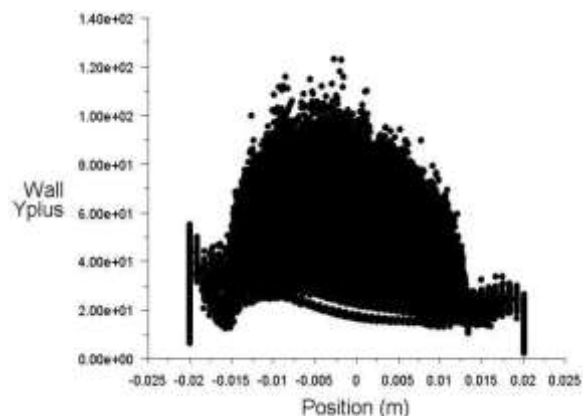
مطابق نمودار شکل (۱۱) حداکثر درصد خطا با استفاده از شرایط مرزی به کار گرفته شده در تحلیل هیدرودینامیکی این پروانه بر مبنای روش RANS، تقریباً ۱۲ درصد است. برای محاسبه و توصیف میدان سرعت و فشار از تئوری مومنتوم استفاده می شود. بر اساس این تئوری، فشار سیال در پشت پره با نزدیک شدن به پروانه کاهش یافته و در ناحیه ورودی یک منطقه مکش ایجاد می شود. در این منطقه علاوه بر کاهش فشار، با افزایش سرعت جریان روبرو هستیم. کاهش فشار تا نزدیکی سطح پره ادامه می یابد. در نزدیکی سطح پره به دلیل وجود تنش های صفحه ای، فشار به طور ناگهانی افزایش می یابد. در سطح رخ پروانه که سطح پرفشار نامیده می شود، اندازه مومنتوم جریان نیز افزایش می یابد. هر چه در راستای شعاعی از ریشه پره به نوک حرکت می نماییم، فشار کمتری بر پروانه اعمال می گردد، بنابراین شمارگر مقادیر سرعت در نزدیکی نوک پره و ناحیه روتور دارای بیشترین مقدار می باشد. در شکل (۱۲) تغییرات فشار بر روی پروانه در $J=0/8$ نشان داده شده است. لبه حمله^۱ (در ناحیه نوک) به دلیل آثار برخوردی آب با آن، حداکثر فشار وارد بر پره را دارا می باشد. با افزایش ضریب پیشروی، پروفیل های سرعت و فشار تغییر چندانی نمی کند و در نتیجه تراست کاهش می یابد. شکل های (۱۳) و (۱۴) توزیع فشار استاتیکی روی سطوح رخ و پشت پروانه را برای نتایج روش RANS نشان می دهند.

همانطور که مشاهده می شود، مقادیر فشار در سطح پشت پروانه و ناحیه مکش منفی و در قسمت سطح رخ پروانه مثبت است که این موضوع قابل پیش بینی بود. شکل (۱۵) توزیع چرخش در جهت محور x و در فواصل $0/25D$ و $0/5D$ از انتهای پروانه برای شرایط بارگذاری سبک ($J=1$) و سنگین ($J=0/2$) را برای نتایج روش RANS نشان می دهد.

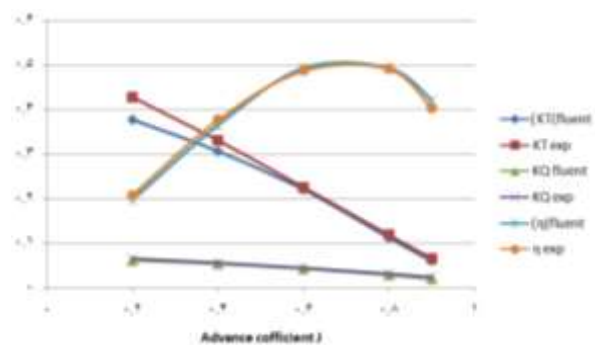


شکل (۸) شبکه ایجاد شده در اطراف پروانه.

در شکل (۹) توزیع $Y+$ بر روی سطوح پروانه سری B نشان داده شده است. با ثابت فرض نمودن سرعت چرخشی پروانه (۹۰۰ دور بر دقیقه) تحلیل هیدرودینامیکی آب آزاد برای پروانه سری B انجام گردید. همان طور که در شکل (۱۰) نشان داده شده است تشابه خوبی بین نتایج حاصل از تحلیل هیدرودینامیکی در فلونت و نتایج تجربی برقرار است.

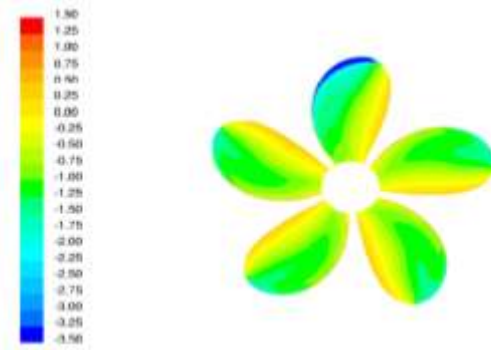
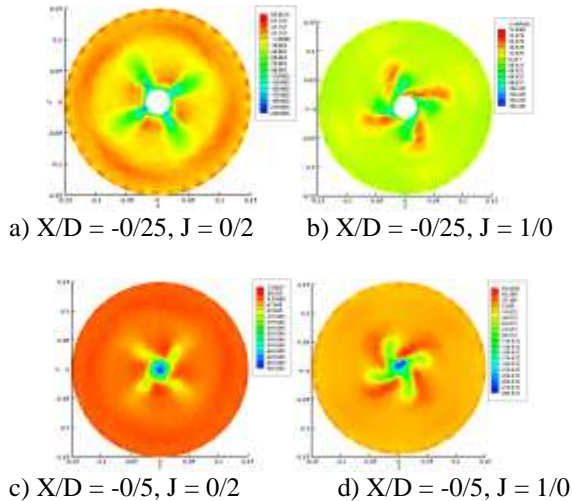


شکل (۹) نحوه توزیع $Y+$ بر روی سطوح پروانه سری B.



شکل (۱۰) نمودار مشخصات هیدرودینامیکی پروانه سری B و مقایسه با نتایج تجربی.

^۱ Leading Edge



شکل (۱۲) نمایش شمارگر فشار بر روی پروانه در $J=0/8$.

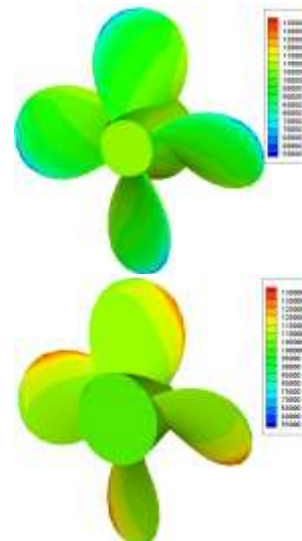
شکل (۱۵) توزیع چرخش (1/s) در راستای محور X و در صفحات YZ پشت پروانه برای ضرایب پیشروی 1, $J=0/2$.

همانطور که مشاهده می‌شود چرخش ناشی از لبه‌های پره و تویی پروانه در جریان و یک پشت پروانه مشهود است. همچنین با افزایش فاصله از صفحه پروانه شدت این چرخش کاهش می‌یابد.

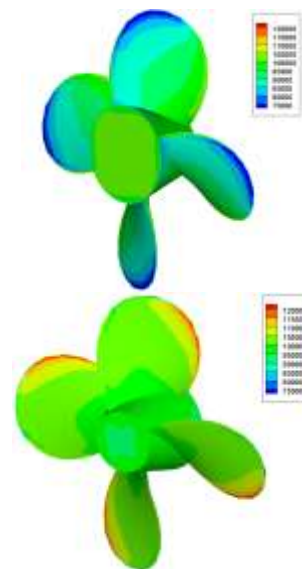
همچنین در شکل (۱۶) توزیع سرعت محوری جریان در صفحات عرضی در پایین دست پروانه با شیب تویی ۱۵- درجه با فواصل معین در سرعت پیشروی $J=0/2$ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد سرعت در پایین دست جریان بالا است. در $X/D=0$ مناطق سرعت بالا در نزدیکی سطح پشت پروانه در نزدیک محدوده $0/7R$ پره قرار دارند در حالیکه مناطق کم سرعت در نزدیک لبه انتهایی پره مشاهده می‌شوند. در $X/D=2$ در محدوده $0/7R$ تا لبه پره دایره‌های هم‌سرعت شکل گرفته‌اند.

با بررسی نمودارهای عملکردی پروانه در هر دو مدل پروانه مشاهده می‌شود که دقت نسبتاً خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و نتایج تجربی در محدوده سرعت‌های پیشروی $0/۰$ تا $۰/۸$ برقرار است. این محدوده دربرگیرنده شرایط کاری سنگین و متعادل^۱ پروانه است.

اما در سرعت‌های پیشروی بالا و شرایط کاری سبک مقدار اختلاف نتایج عددی و تجربی افزایش می‌یابد. در شرایط کاری خیلی سبک مقدار ضریب سرعت پیشروی پروانه به نسبت قطر به گام پروانه نزدیک می‌گردد یا $J/(P/D) \approx 1/0$.

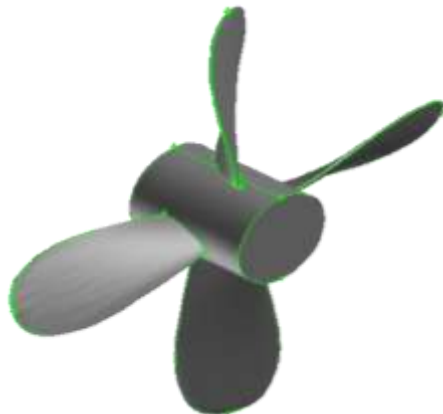


شکل (۱۳) توزیع فشار بر روی سطوح رخ (راست) و پشت (چپ) پروانه در ضریب پیشروی $J=0/2$ (بر حسب پاسکال).

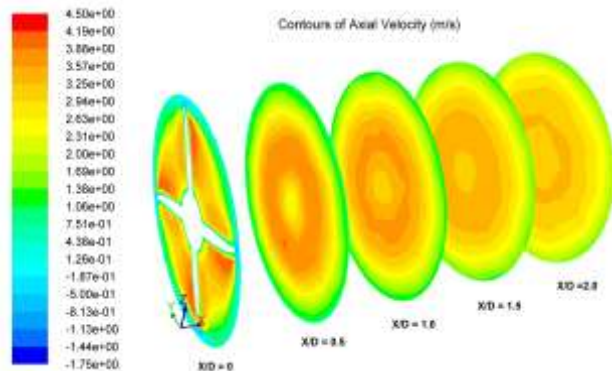


شکل (۱۴) توزیع فشار بر روی سطوح رخ (راست) و پشت (چپ) پروانه در ضریب پیشروی $J=0.2$ (بر حسب پاسکال).

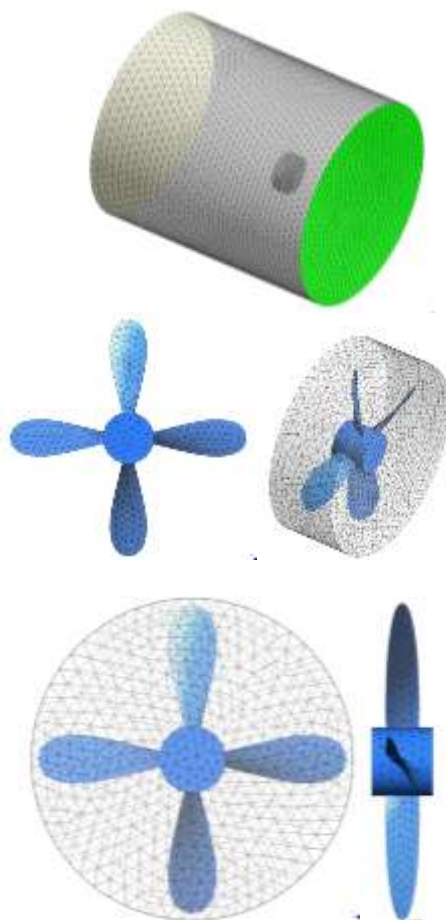
^۱ Heavy and Moderate Condition



شکل (۱۷) هندسه پروانه ۳۶۸۶.



شکل (۱۶) توزیع سرعت (m/s) در راستای محور X و در صفحات YZ پشت پروانه برای ضریب پیشروی $J=0/2$.



شکل (۱۸) شبکه بندی پروانه و دامنه محاسباتی پیرامون آن.

ناحیه متحرک: هدف از این ناحیه شبیه سازی حرکت دورانی پروانه و اعمال شتاب کوریولیس بر معادلات حاکم بر جریان است. ابعاد این ناحیه متناسب با قطر پروانه است. در این تحقیق به مطالعه، تأثیر ابعاد مختلف این ناحیه یعنی طول قسمت ورودی (a)، خروجی (b)، قطر استوانه چرخان (d)، قطر استوانه ساکن (D) و طول استوانه چرخان (c) پرداخته خواهد شد (شکل (۱۹)).

این شرایط که شرایط حدی^۱ پروانه نامیده می شود، سبک ترین حالت کاری پروانه برای تولید تراست است. در روش RANS مقادیر محاسبه شده توسط روش عددی برای ضرایب تراست کمتر از مقادیر تجربی است. در حالیکه ضرایب گشتاور پروانه بزرگتر از مقادیر تجربی تخمین زده شده اند. با بررسی نمودارهای عملکردی پروانه مشاهده می شود نتایج اکتسابی همخوانی نسبتاً خوبی بین نتایج تجربی در سرعت های پیشروی مختلف برقرار است. همچنین مقادیر محاسبه شده در خصوص ضرایب تراست و گشتاور پروانه توسط روش محاسباتی حاضر با نتایج تجربی خطای بسیار کمی دارد.

۵- تعیین مدل پروانه جهت تحلیل عددی

جهت تعیین دامنه مناسب محاسباتی از پروانه مدل استاندارد ۳۶۸۶ استفاده شده است. این مدل توسط Miller [۱۵] در سال ۱۹۷۶ با مشخصات هندسی مطابق جدول (۲) ارائه گردیده است.

مطابق با جدول (۲) قطر این پروانه ۰/۳۰۵۲ متر است. در شکل (۱۷) هندسه نهایی ایجاد شده در نرم افزار را ارائه شده است. در شکل (۱۸) نیز نمونه ای از دامنه و شبکه ایجاد شده بر روی سطح پروانه نشان داده شده است.

۶- تعیین ابعاد دامنه محاسباتی مناسب حل

جهت مدل سازی پروانه در سیال، میدان حل را به دو ناحیه کلی استوانه ای شکل تقسیم می نماییم. ناحیه ساکن: این ناحیه دربرگیرنده ناحیه متحرک است.

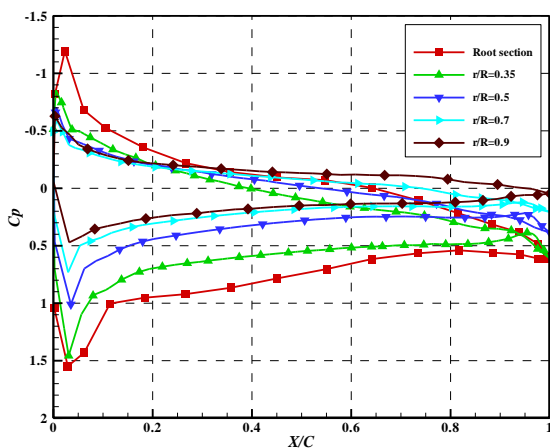
^۱ Extreme condition

شکل (۱۹) تعریف پارامترهای دامنه محاسباتی جهت تحلیل ابعاد میدان حل بر روی نتایج.

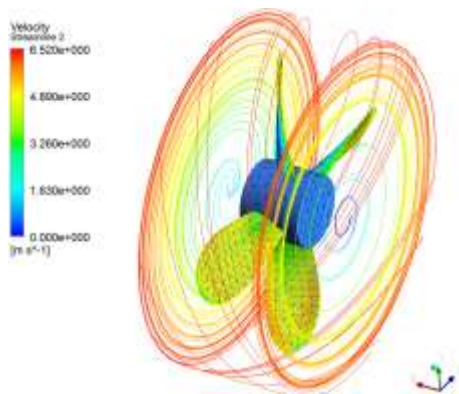
همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود توزیع فشار مناسب در اطراف ریشه پروانه ایجاد می‌گردد. فرم و شکل مقطع پروانه به شکل‌گیری این توزیع فشار مناسب در ریشه کمک می‌نماید.

در ادامه نتایجی از تحلیل انجام شده بر روی این مدل از پروانه در شرایط open water (آب آزاد) ارائه گردیده است. برای به دست آوردن ابعاد ناحیه ساکن بهینه، ۲۰ ناحیه مختلف با ابعاد مختلف a, b, c, d و D مورد مطالعه قرار گرفت. گفتنی است واحد اندازه‌گیری همه نمودارها و اشکال ارائه شده متر است.

در شکل (۲۲) تأثیر ابعاد خروجی دامنه بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور نشان داده شده است. در شکل (۲۳) تأثیر ابعاد ورودی دامنه بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور را نشان می‌دهد.



شکل (۲۰) توزیع ضریب فشار بر روی پروانه در شعاع‌های مختلف.



شکل (۲۱) نمایش خطوط جریان در ورودی و خروجی پروانه به صورت بردار سرعت در حالت $J=0.5$.

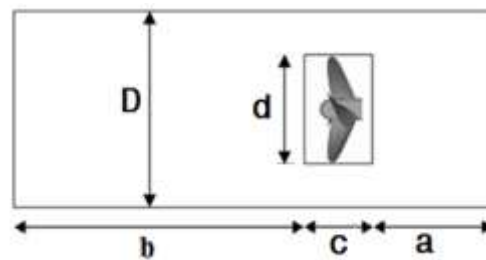
لازم به ذکر است که هرچقدر ابعاد ناحیه ساکن بزرگ‌تر باشد همگرایی بهتر و جواب‌ها دقیق‌تر خواهد بود؛ اما افزایش ابعاد ناحیه ساکن بیشتر از مقادیر فوق، سبب افزایش تعداد المان‌ها و افزایش زمان حل می‌شود. جهت دستیابی به بهترین حل در مناسب‌ترین زمان ممکن، باید حالت بهینه برای ابعاد دامنه حل و تعداد المان و تعداد المان‌ها انتخاب گردد [۱۵].

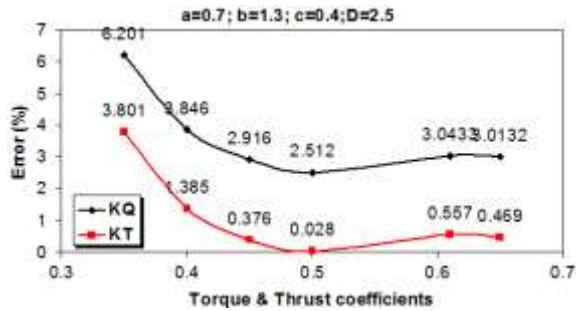
کلیه شبیه‌سازی‌های انجام شده و گزارش شده در این مطالعه برای ضریب پیشروی 0.5 است و تأثیر ضریب پیشروی بر دامنه بهینه در این مطالعه بررسی نشده است. همچنین مدل آشفتگی استفاده شده در مطالعه دامنه محاسباتی بهینه مدل $k-\epsilon$ RNG تنظیم شده است. شبکه ایجاد شده در دامنه محاسباتی طوری انتخاب شده که قانون دیواره برای مدل آشفتگی ارضا شده و $30 < y+ < 300$ گردد.

در این تحقیق محاسبات شبیه‌سازی پروانه در حالت آب آزاد (Open Water) در حالت‌های مختلف انجام شده است. توزیع فشار بر روی پره این پروانه در ریشه پروانه و در مقاطع $r/R = 0/35, 0/5, 0/7, 0/9$ در شکل (۲۰) ارائه گردیده است.

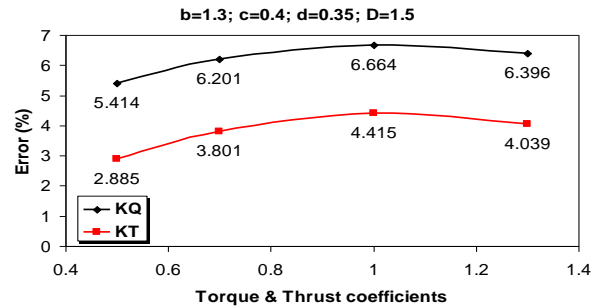
جدول (۲) مشخصات هندسی پروانه مدل ۳۶۸۶ [۱۵].

Position		Forward		
Number of Blades		4		
Diameter		12,017 inches (0.305211)		
Pitch at 0, 7 R Expanded		15,510 inches (0.3940 m)		
Area Ratio		0,303		
Section Thickness Distribution		t:ACA a = 0.8		
Rotation		NACA 66 Modified Left Hand		
r/R	P/D	C/D	t/c	Eh / C
0.2	1.426	0.1075	0.2214	0.0018
0.3	1.396	0.1250	0.1688	0.0364
0.4	1.366	0.1400	0.1321	0.0430
0.5	1.336	0.1548	0.1027	0.0396
0.6	1.310	0.1695	0.0785	0.0353
0.7	1.291	0.1787	0.0604	0.0280
0.8	1.278	0.1750	0.0463	0.0249
0.9	1.278	0.1500	0.0367	0.0206
0.95	1.267	0.1220	0.344	0.0175
1.00	1.267			

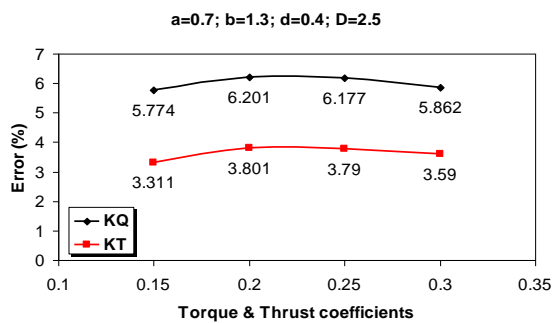




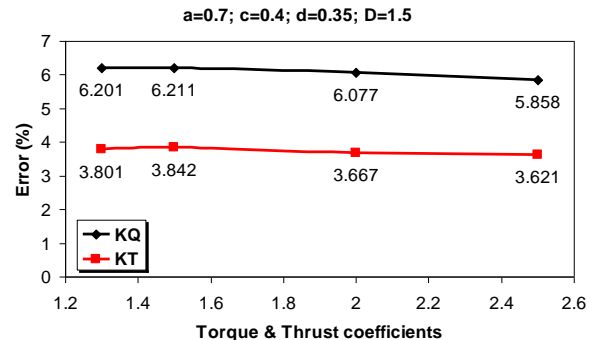
شکل (۲۵) تأثیر قطر استوانه دامنه محاسباتی چرخان بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور.



شکل (۲۲) تأثیر ابعاد خروجی دامنه بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور.



شکل (۲۶) تأثیر طول استوانه دامنه محاسباتی چرخان بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور.

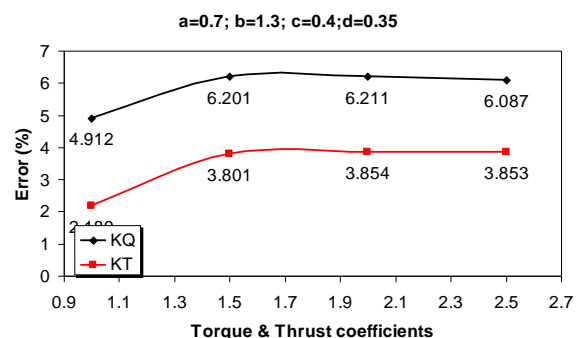


شکل (۲۳) تأثیر ابعاد ورودی دامنه بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور.

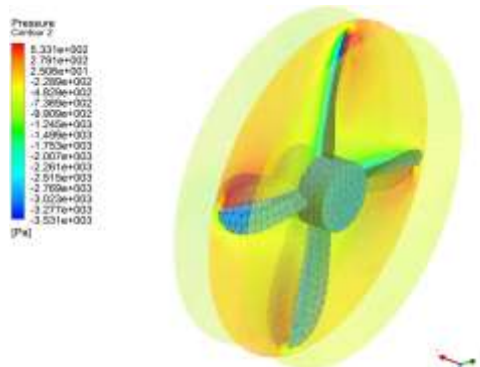
بطوریکه هر چقدر ابعاد ورودی و همچنین قطر دامنه محاسباتی را بیشتر بگیریم مقدار خطا کمتر خواهد شد. اما در این خصوص باید متذکر گردید که در این حالت تعداد سلول‌های محاسباتی افزایش یافته و زمان حل نیز متناسب با آن بصورت نمایی بیشتر خواهد شد که مقرون بصره نخواهد بود که در این حالت بایستی بهترین ابعاد دامنه انتخاب گردد تا هم خطای محاسباتی کاهش یافته و هم زمان حل نیز کاسته شود. البته هر چقدر که ابعاد ورودی را بیشتر بگیریم بعد از یک حالت حدی با افزودن به ابعاد دامنه حل دقت محاسبات تغییری نخواهد کرد و فقط زمان حل افزایش خواهد یافت.

در این مطالعه عددی، جهت یافتن ابعاد دامنه‌ی محاسباتی بهینه در شبیه‌سازی پروانه کاملاً مغروق و حالت آب آزاد (Open Water)، ۲۰ دامنه محاسباتی با ابعاد متفاوت مورد مطالعه عددی قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعه ابعاد دامنه محاسباتی در ضریب پیشروی ۰/۵ نشان داد که دامنه محاسباتی بهینه دارای طول ورودی ۰/۵، طول خروجی ۲/۵، قطر ناحیه ساکن، قطر ناحیه چرخان ۰/۵ و طول ناحیه چرخان ۰/۳ است. بیشترین تأثیرگذاری را در پارامترهای فوق قطر ناحیه چرخان داشت.

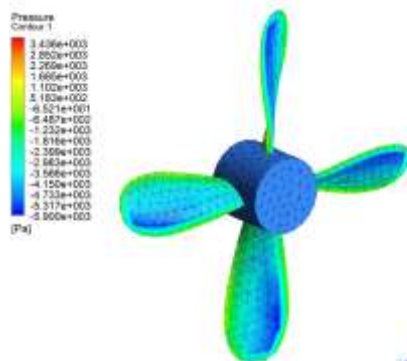
در شکل (۲۴) تأثیر قطر استوانه دامنه محاسباتی ساکن بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور نشان داده شده است. در شکل (۲۵) تأثیر قطر استوانه دامنه محاسباتی چرخان بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور نشان داده شده است. تغییرات مقادیر ضریب تراست و گشتاور با ابعاد دامنه بسیار حساس است. مهمترین پارامتر که حساسیت بسیار بالایی دارد ابعاد دامنه ورودی و قطر استوانه دامنه محاسباتی است.



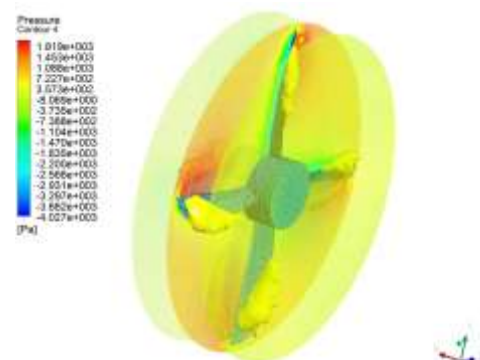
شکل (۲۴) تأثیر قطر استوانه دامنه محاسباتی ساکن بر درصد خطای ضریب تراست و ضریب گشتاور.



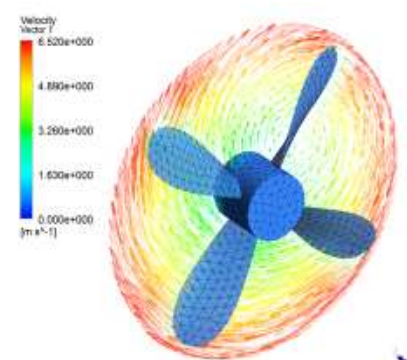
شکل (۲۷) نمایش کانتور فشار بر روی سطح پره‌های پروانه و در ناحیه ورودی و خروجی پره‌های پروانه در حالت $J=0/4$.



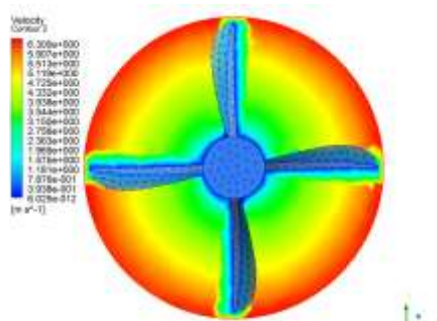
شکل (۲۸) نمایش کانتور فشار بر روی سطح مکش پروانه در حالت $J=0/5$.



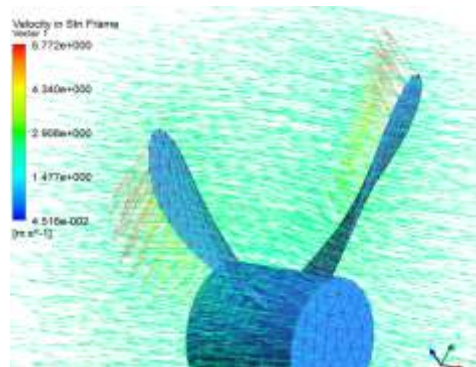
شکل (۲۹) نمایش کانتور فشار بر روی سطح پره‌های پروانه و در ناحیه ورودی و خروجی پره‌های پروانه در حالت $J=0/8$.



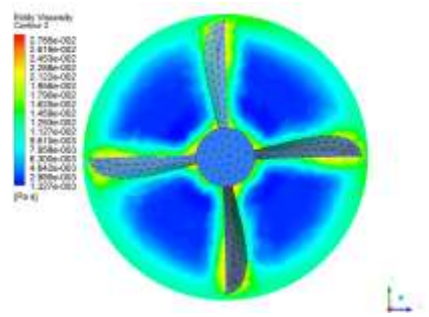
شکل (۳۰) نمایش بردار سرعت در ناحیه مقطع میانی پروانه در حالت $J=0/5$.



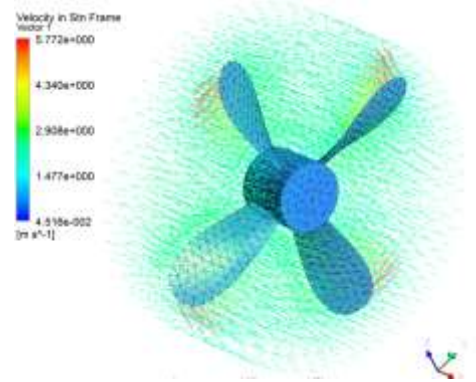
شکل (۳۱) نمایش کانتور سرعت در ناحیه مقطع میانی پره‌های پروانه در حالت $J=0/6$.



شکل (۳۲) نمایش بردار سرعت در ناحیه میدان چرخشی پروانه در حالت $J=0/5$.



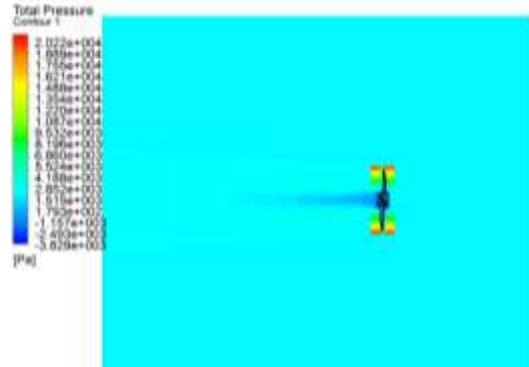
شکل (۳۳) نمایش کانتور Eddy Viscosity در ناحیه مقطع میانی پره‌های پروانه در حالت $J=0/5$.



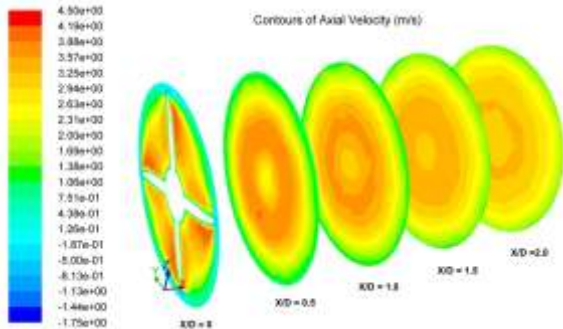
جدول (۳) محاسبه ضرایب تراست و گشتاور پروانه مدل ۳۶۸۶

در حالت آب آزاد (Open Water).

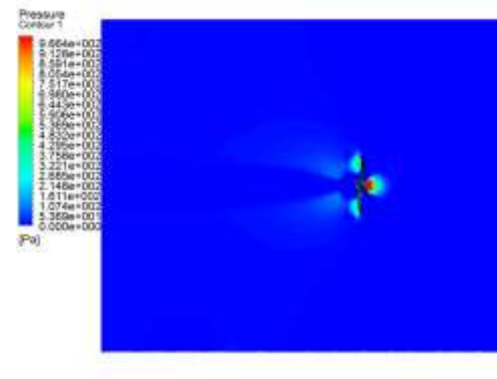
θ	K_T				K_Q			
	J=0.2	J=0.4	J=0.6	J=0.8	J=0.2	J=0.4	J=0.6	J=0.8
-30	-7.01	-5.55	-10.35	-11.69	5.47	5.86	11.03	13.39
-20	-6.01	-4.76	-7.37	-10.02	4/69	5/02	8.51	11.48
-10	-5.01	-4.08	-5.58	-8.36	3.91	4.31	6.44	9.58
0	-4.26	-3.5	-4.57	-7.1	3.32	3.69	5.28	8.14
10	-5.15	-4.04	-5.78	-10.46	4.02	4.26	6.67	11.04
30	-7.54	-5.65	-10.07	-15/74	5.89	5.96	11.63	14.75
متوسط	-5.77	-4.52	-7.20	-10.81	4.50	4.77	8.17	11.41



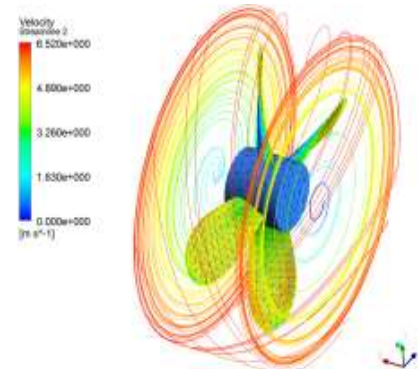
شکل (۳۴) نمایش کانتور فشار کل در ناحیه میانی دامنه حل در حالت J=0/5.



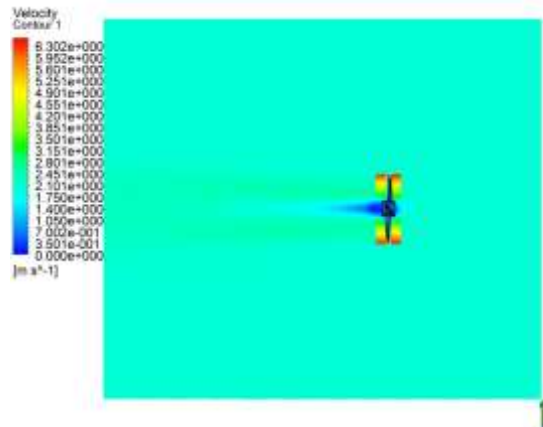
شکل (۳۷) توزیع سرعت (m/s) در راستای محور X و در صفحات YZ پشت پروانه برای ضریب پیشروی J=0/2.



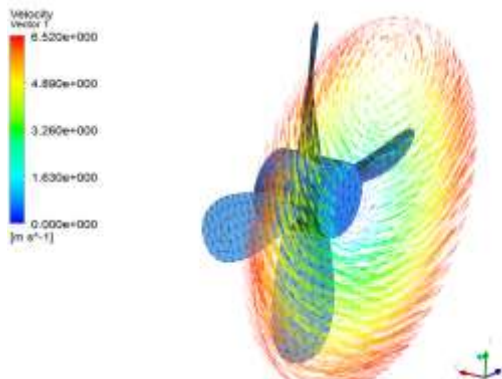
شکل (۳۵) نمایش کانتور فشار محلی در ناحیه میانی دامنه حل در حالت J=0/5.



شکل (۳۸) نمایش خطوط جریان در ورودی و خروجی پروانه به صورت بردار سرعت در حالت J=0/5.

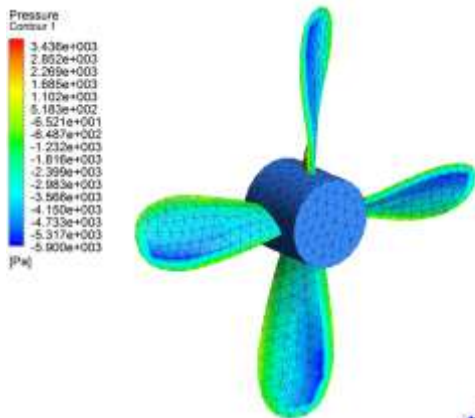


شکل (۳۶) نمایش کانتور سرعت در ناحیه میانی دامنه حل در حالت J=0/5.

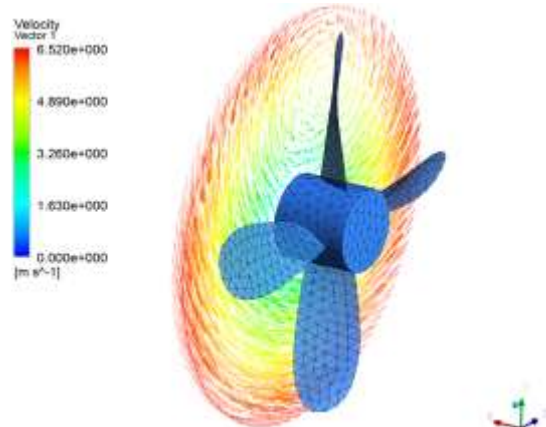


شکل (۳۹) نمایش بردار سرعت در ناحیه ورودی به پروانه در حالت J=0/5.

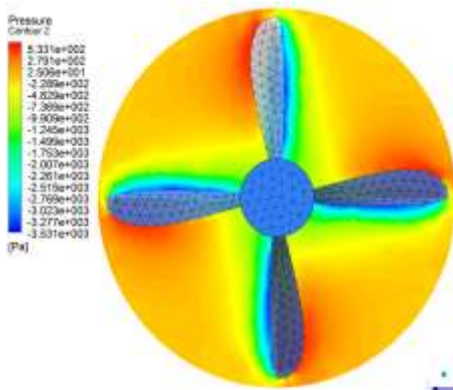
در شکل‌های (۳۸) تا (۴۵) خطوط جریان، سرعت و فشار در ورودی و خروجی پروانه در حالت‌های مختلف نشان داده شده‌اند. مطالعه ابعاد دامنه محاسباتی در ضریب پیشروی ۰/۵ نشان می‌دهد که دامنه محاسباتی بهینه طول ورودی ۰/۵، طول خروجی ۲/۵، قطر ناحیه ساکن^۱، قطر ناحیه چرخان ۰/۵ و طول ناحیه چرخان ۰/۳ دارد. قطر ناحیه چرخان بیشترین تاثیر را در پارامترهای فوق داشت.



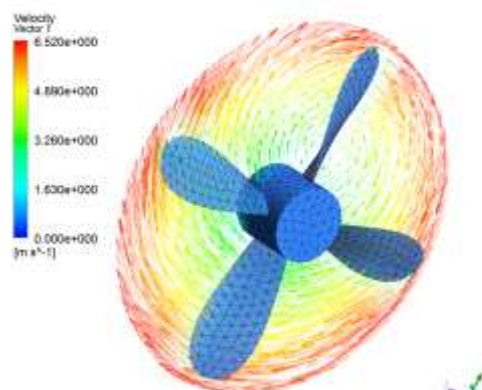
شکل (۴۳) نمایش کانتور فشار بر روی سطح مکش پروانه در حالت $J=0/5$



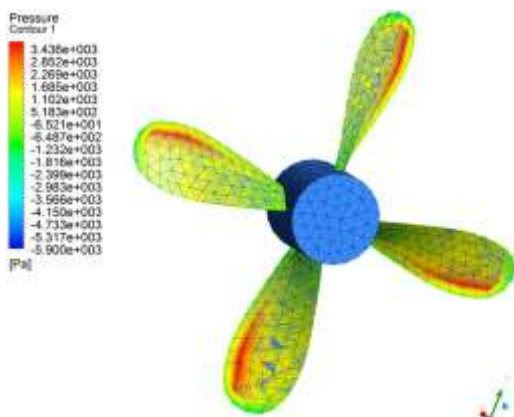
شکل (۴۰) نمایش بردار سرعت در ناحیه خروجی از پروانه در حالت $J=0/5$



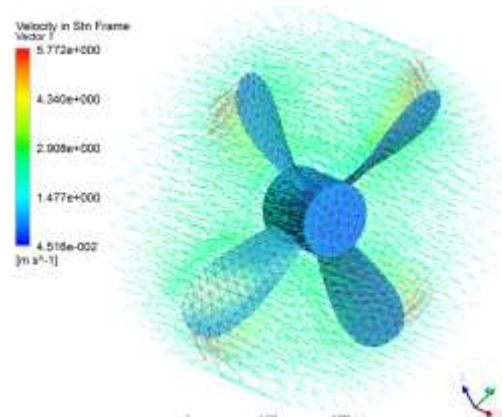
شکل (۴۴) نمایش کانتور فشار در ناحیه مقطع میانی پره‌های پروانه در قسمت فشار در حالت $J=0/5$



شکل (۴۱) نمایش بردار سرعت در ناحیه مقطع میانی پروانه در حالت $J=0/5$



شکل (۴۵) نمایش کانتور فشار بر روی سطح فشار پروانه در حالت $J=0/5$



شکل (۴۲) نمایش بردار سرعت در ناحیه میدان چرخشی پروانه در حالت $J=0/5$

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

قابلیت این روش‌های عددی در پیش‌بینی ویژگی‌های این سیستم‌ها ارزیابی شد. در این مطالعه عددی، جهت یافتن ابعاد دامنه‌ی محاسباتی بهینه در شبیه‌سازی پروانه کاملاً مغروق، ۲۰ دامنه محاسباتی با ابعاد متفاوت مورد مطالعه عددی قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعه ابعاد دامنه

در این مقاله سعی گردید با پیشنهاد و توسعه یک روش محاسباتی به بررسی عملکرد سیستم‌های رانش پرداخته شود. با استفاده از سه مدل پروانه به روش عددی RANS، به عملکرد سیستم رانش در شرایط متفاوت بررسی شد.

نگردد. در تحلیل سیستم‌های رانش استفاده از روش شبکه‌های لغزان و تحلیل‌های غیریکنواخت بخصوص در زوایای بالا ضروری است.

تغییرات مقادیر ضریب تراست و گشتاور با ابعاد دامنه بسیار حساس می باشد. مهمترین پارامتر که حساسیت بسیار بالایی دارد ابعاد دامنه ورودی و قطر استوانه دامنه محاسباتی می باشد بطوریکه هر چقدر ابعاد ورودی و همچنین قطر دامنه محاسباتی را بیشتر بگیریم مقدار خطا کمتر خواهد شد اما در این خصوص باید متذکر گردید که در این حالت تعداد سلولهای محاسباتی افزایش یافته و زمان حل نیز متناسب با آن بصورت نمایی بیشتر خواهد شد که مقرون بصرفه نخواهد بود. که در این حالت باید بهترین ابعاد دامنه انتخاب گردد تا هم خطای محاسباتی کاهش یافته و هم زمان حل نیز کاسته شود. البته هر چقدر که ابعاد ورودی را بیشتر بگیریم بعد از یک حالت حدی با افزودن به ابعاد دامنه حل، دقت محاسبات تغییری نخواهد کرد و فقط زمان حل افزایش خواهد یافت که هزینه محاسباتی را بالا خواهد برد.

۸- مراجع

- [1] Chen, B., Stern, S., "Computational Fluid Dynamics of Four-Quadrant Marine-Propulsor Flow", Journal Of Ship Research, Vol.43, No.4, pp.218-228, 1999.
- [2] Larsson, L., Regnström, B., "Numerical Optimisation of Propeller-Hull Configurations at Full Scale", Journal of Marine Engineering and Technology, No.A8, 2006.
- [3] Grassi, D., Brizzolaro, S. "Numerical Analysis of Propeller Performance by Lifting Surface Theory", 2nd International Conference on Marine Research and Transportation, 2007.
- [4] Dymarski, P., "Computations of the Propeller Open Water Characteristics Using the Solga Computer Program, Prediction of the Cavitation Phenomenon", Archives of Civil and Mechanical Engineering. Vol. 8, No.1, 2008.
- [5] Tocu, A. M, Amoraritei, M., "Numerical Study of the Flow Field Around a Ship Hull Including Propeller Effect", Journal of Maritime Research, Vol.5, No.3, pp. 67-78, 2008.
- [6] Yamasaki, S., Okazaki, A., Hasuike, N., Kawanami, Y., Ukon, Y., "Numerical and Experimental Investigation into Cavitation of Propellers Having Blades Designed by Various Load Distributions near the Blade Tips", First International Symposium on Marine Propulsorsmp, Trondheim, Norway, 2009.

محاسباتی در ضریب پیشروی ۰/۵ نشان داد که دامنه محاسباتی بهینه دارای طول ورودی ۰/۵، طول خروجی ۲/۵، قطر ناحیه ساکن ۱، قطر ناحیه چرخان ۰/۵ و طول ناحیه چرخان ۰/۳ است. بیشترین تأثیرگذاری را در پارامترهای فوق قطر ناحیه چرخان داشت.

در نخستین مرحله استفاده از یک گر حجم محدود بر مبنای روش RANS در دستور کار قرار گرفت. در راستای دستیابی به یک دید کلی از عملکرد اجزای سیستم رانش، تحلیل‌های عددی متعددی شامل عملکرد پروانه، در شرایط یکنواخت انجام پذیرفت. نتایج عددی به دست آمده توسط روش RANS با نتایج عددی موجود مقایسه و اعتبارسنجی گردید.

در تحلیل پروانه به تنهایی در جریان مستقیم دقت نسبتاً خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و نتایج تجربی به خصوص در محدوده شرایط کاری سنگین و متعادل پروانه وجود دارد. مقادیر محاسبه شده توسط روش عددی برای ضرایب تراست کمتر از مقادیر تجربی است، درحالی که ضرایب گشتاور پروانه بزرگتر از مقادیر تجربی تخمین زده شده‌اند. درصد خطاهای نسبی برای ضرایب تراست و گشتاور پروانه کمتر از ۱۰٪ است که توانایی بالا روش RANS در تحلیل پروانه اثبات می‌نماید. روش RANS به همراه روش MRF یک ابزار مناسب با کارایی بالایی در تحلیل پروانه به تنهایی است.

در تحلیل سیستم رانش در جریان مستقیم به صورت یکنواخت و به روش MRF، حداکثر متوسط خطای ۱۵٪ برای ضرایب تراست و گشتاور در سرعت‌های مختلف مشاهده شد. درحالی که این مقدار برای نیروهای محوری و جانبی تا ۲۰٪ افزایش می‌یابد. به طور کلی درصد خطای نسبی برای ضرایب نیروی محوری و نیروی جانبی بیشتر از ضرایب تراست و گشتاور است. دلایل اصلی این افزایش اختلاف در نتایج را می‌توان آثار لزجت و اندرکنش جریان بین اجزای سیستم رانش بخصوص در سرعت‌های بالا دانست. لزجت نقش تعیین‌کننده‌ای در نیروهای محوری و جانبی ایفا می‌نماید. لذا یک تخمین دقیق از آثار لزجت برای پیش‌بینی نیروهای محوری و جانبی ضروری است.

استفاده از روش RANS به همراه روش MRF در تحلیل سیستم رانش سبب می‌گردد غیریکنواختی جریان به خصوص در زوایای بالا به صورت صحیحی شبیه‌سازی

- on Hydrodynamic Performance Assessment of a Marine Propeller”, Brodogradnja : Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike, Vol.67 No.4 Prosinac, 2016.
- [14] Shamsi, R., Ghassemi, H. and Iranmanesh, M., A Comparison of the BEM and RANS Calculations for the Hydrodynamic Performance of the PODS, Mechanics & Industry, Vol.18, No.205, 2017.
- [15] Zhao, D., Guo, C., Su, Y., Wang, L. and Wang, C., “Numerical Study on the Unsteady Hydrodynamic Performance of a Four-Propeller Propulsion System Undergoing Oscillatory Motions”, Journal of Coastal Research, Vol.33, No.2, pp.347–358, 2017.
- [16] Zhao, Q., Guo, C., Su, Y., Liu, T., Meng, X., “Study on Unsteady Hydrodynamic Performance of Propeller in Waves”, Journal of Marine Science and Application, Vol.16, No.3, pp.305–312, 2017
- [17] ANSYS-FLUENT, Manual, 2017.
- [7] Arazgaldi, R., Hajilouy, A., Farhanieh, B., “Experimental and Numerical Investigation of Marine Propeller Cavitation”, Transaction B Mechanical Engineering. Vol.16, No.6, pp.525–533, 2009.
- [8] Himei, K., “Numerical Analysis of Unsteady Open Water Characteristics of Surface Piercing Propeller”, Third International Symposium on Marine Propulsors, Launceston, Tasmania, Australia, 2013.
- [9] Rijpkema, D., Starke, B., Bosschers, J., “Numerical Simulation of Propeller-Hull Interaction and Determination of the Effective Wake Field Using a Hybrid RANS-BEM Approach”, Third International Symposium on Marine Propulsors, Launceston, Tasmania, Australia, 2013.
- [10] Alho, A. T. P., “Development of a CFD Model For Simulation Of Self-Propulsion Tests”, South Africa Reiginal Conference, 2013.
- [11] Ghassemi, H., Taherinasab, M., “Numerical Calculations of the Hydrodynamic Performance of the Contra-Rotating Propeller (CRP) for High Speed Vehicle”, Polish Maritime Research, Vol.20, pp.13–20, 2013.
- [12] Yeo, K. B. Hau, W. Y. Gong, C. M., “Computational Development of Marine Propeller Design”, Journal of Applied Science, Vol.14, No.10, pp 1043–1048, 2014.
- [13] Belhenniche, E., Aounallah, M., Omar, I., Celik, F., “Effect of Geometric Configurations